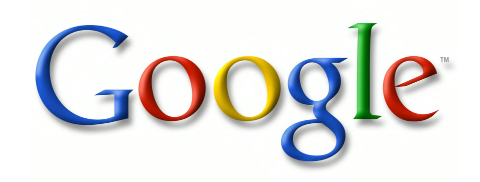
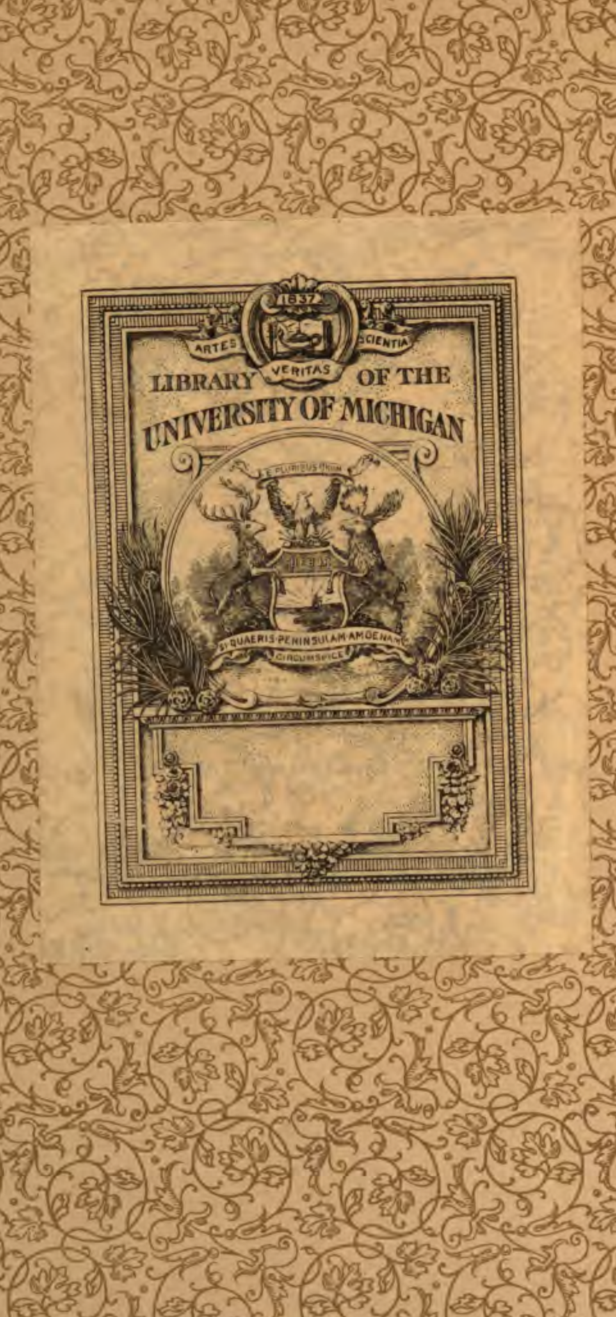



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



ANNALES

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE MICROSCOPIE

ANNALES

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE MICROSCOPIE

TOME XV

BRUXELLES
A. MANCEAUX, LIBRAIRE-ÉDITEUR
12, rue des Trois-Têtes, 12

1891

MÉMOIRES

RECHERCHES

AU SUJET DE

L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE

SUR LA MARCHE, LA DURÉE ET LA FRÉQUENCE

DE LA

CARYOCINÈSE DANS LE RÈGNE VÉGÉTAL

PAR

É. DE WILDEMAN

RECHERCHES

AU SUJET DE

L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LA MARCHE

LA DURÉE ET LA FRÉQUENCE

DE LA

CARYOCINÈSE DANS LE RÈGNE VÉGÉTAL

Par É. DE WILDEMAN (*)

« Die hohe Abhängigkeit der Entwicklung der Pflanzen von der Temperatur ergibt sich schon aus den in Freien zu gewinnenden Beobachtungen. Ziemlich zahlreiche experimentelle Prüfungen haben dann in Näheren festgetellt, dass hinsichtlich der Zuwachsbewegung ein specifisch und auch individuell verschiedenes Minimum, Optimum und Maximum besteht. »

PFEFFER, *Pflanzenphysiologie*, Bd. II, p. 122.

L'étude de la division nucléaire a été faite avec soin dans ces dernières années, soit sur des matériaux fixés, soit sur des matériaux frais; mais l'on n'a fait jusqu'ici que fort peu de recherches sur les modifications occasionnées par les agents extérieurs sur la durée, la fréquence ou la marche de la division caryocinétique dans un même type.

Quelques auteurs ont constaté, dans certains cas, l'ac-

(*) Les premiers paragraphes de ce travail ont fait l'objet d'un mémoire de concours, présenté à la Société des sciences médicales et naturelles de Bruxelles en 1890.

tion de la gravitation sur la caryocinèse; d'autres auteurs ont prouvé que la division nucléaire n'est pas influencée par la même cause chez quelques organismes végétaux (*).

Si pour l'action de la pesanteur les expérimentateurs arrivent à des résultats positifs ou négatifs, suivant les cellules considérées, pour le magnétisme et l'électricité, le peu d'expériences que nous possédons jusqu'à ce jour sont négatives.

M. Errera, dans les études qu'il a faites sur ce sujet, a vu les noyaux se comporter normalement, lorsque les cellules étaient cultivées entre les pôles d'un électro-aimant puissant (**).

La lumière, étudiée par quelques auteurs, paraît avoir une influence assez différente, suivant les organismes sur lesquels on la fait agir. Dans un travail publié en 1885, M. Stahl (***) a fait connaître l'action directrice de la lumière sur le fuseau dans la division du noyau de la spore chez l'*Equisetum*. L'axe de la figure caryocinétique correspond avec la direction du rayon lumineux, et la membrane se forme perpendiculairement à cette direction, revêtant une forme bombée, qu'il a désignée sous le nom de « verre de montre », si la spore est éclairée. L'on obtient ainsi deux cellules, l'une, plus grande, qui donnera naissance au thalle, l'autre qui fournira les rhizoïdes. Si l'éclairage n'est pas suffisant ou bien nul, la

(*) Voyez le résumé *Schwerkraft und Zeltheilung*, in *Biologisches Centrablatt*, 1er janvier 1886, p. 663, et HEINRICHER, *Beeinflusst das Licht die Organanlage am Farnembryo*, in *Mitth. Bot. Institut zu Graz*, 1882, Helft II.

(**) L. ERRERA. *L'aimant agit-il sur le noyau en division?* in *Bull. Soc. roy. de Bot. de Belg.*, t. XXIX, 2e partie, p. 17-24.

(***) STAHL. *Einfluss der Beleuchtungsrichtung auf die Theilung der Equisetumsporen*, in *Ber. deutsch. bot. Gesellschaft*, 1885, Bd. III, Heft.

cloison formée est plane et partage la spore en deux moitiés égales et semblables (*). Chez le *Pelvetia canaliculata*, M. Kolderup-Rosenvinge (**) a observé que la première cloison qui apparaît dans l'œuf est également perpendiculaire à la direction des rayons lumineux. Le *Fucus serratus*, que le même auteur a étudié, ne présente plus la même sensibilité : la première cloison qui est formée dans l'œuf s'oriente indifféremment par rapport aux rayons qui le frappent.

M. Maupas, dans son travail sur l'accroissement et la multiplication des infusoires ciliés (***), trouve que la lumière n'intervient en aucune façon dans le phénomène de la division. Des expériences faites parallèlement à la lumière et à l'obscurité ont donné des résultats absolument comparables.

Les travaux de M. Famintzin sur l'action de la lumière dans la multiplication cellulaire, ont plutôt une autre portée, que l'on ne peut faire intervenir ici, car l'auteur soumet les algues à un éclairage intense qui ne se réalise presque jamais dans la nature. Les spirogyres, d'ailleurs, ne supportent pas bien un éclairage trop considérable ni une chaleur trop forte.

La composition chimique du milieu n'a pas encore fourni de résultats au sujet de la durée de la division caryocinétique. Cependant M. W. Migula (****) a observé

(*) BUCHTIEN. *Entwicktlungsgeschichte des Prothallium von Equisetum* (BIBLIOTHECA BOTANICA, Heft. 8, p. 18, pl. 1, fig. 8).

(**) KOLDERUP-ROSENVINGE. *Influence des agents extérieurs sur l'organisation polaire et dorsi-ventrale des plantes* in *Rev. gén. de Botan*, 1889, n°s 2-6, et 1890, n° 18, p. 284.

(***) MAUPAS. *Rajeunissement karyogamique des ciliés*, in *Arch. de zoologie expérimentale*, 1888-89, p. 255.

(****) MIGULA. *Ueber den Einflus starck verdünnter Saurelösungen auf Algenzellen*, Breslau, 1888.

que dans des cultures de *Spirogyra*. faites dans de l'eau acidulée, soit par l'acide phosphorique à 0,002 p. 100, soit par l'acide citrique à 0,004 p. 100 la division cellulaire est retardée, quoique la croissance en longueur de la cellule se fasse d'une façon très notable. Un total de quatre-vingt-quatre cellules de spirogyre, placées dans une solution à 0,004 p. 100 d'acide citrique ont donné au bout de huit jours, par division cellulaire, un total de quatre-vingt quinze cellules ; quarant deux cellules de la même espèce d'algue placées dans de l'eau ordinaire ont fourni au bout du même temps un total de deux cent vingt-sept cellules. Dans la première série d'expériences, à partir du sixième jour, le nombre des cellules ne s'est plus accru, tandis que la longueur cellulaire a augmenté considérablement, les cellules ayant acquis une longueur de 252 μ. Dans le second cas, la longueur a diminué, et de 79 μ que les cellules possédaient au commencement de l'expérience, la longueur est tombée à 73 μ. La longueur totale du filament à la fin de l'expérience a été pour le filament ayant subi l'action des acides de 23,940 μ, pour l'autre de 16,751 μ seulement.

Ce qui résulte de ce fait est donc assez important : c'est que la division nucléaire n'est pas nécessairement en rapport avec la croissance en longueur de la cellule.

Pendant la division des cellules de *Spirogyra*, j'ai pu faire des mensurations exactes qui m'ont prouvé que tout le temps que dure la caryocinèse, la cellule n'augmente pas de longueur. Je ne pourrais assurer le même fait pour le *Tradescantia ;* ici, au contraire, il m'a paru que pendant les premières phases de la division il

pouvait encore se faire un certain allongement de la cellule.

M. Maupas a également fait sur les infusoires ciliés des expériences intéressantes au point de vue de la nutrition. Il a pu obtenir par certains artifices de culture (milieux faibles) des espèces, ou plutôt des races, se divisant un bien moins grand nombre de fois que dans les cas où on leur fournissait un aliment plus complet.

Les observations de M. Maupas, relatives à la température, sont des plus intéressantes et montrent que, par un accroissement de chaleur, la bipartition se fait plus vite. C'est ainsi que pour un infusoire, à ne citer que celui-là, *Leucophrys patula*, l'auteur obtient (*) :

Températures	6-8	8-11	11-14	14-17	17-20	20-23	23-26
Bipartitions en 24 heures .	1	2	3	4	5	6	7

Il est regrettable que nous ne possédions pas d'expériences à des températures plus élevées, qui nous permettraient peut-être de comparer la marche du phénomène dans les deux règnes. La chaleur est, comme on le voit, très favorable au développement de ces organismes.

Cette action est peut-être celle sur laquelle on possède le moins de renseignements : les caryocinèses que l'on trouve décrites dans une masse de travaux ne sont que rarement accompagnées d'indications de températures exactes, et n'ont point été observées dans le véritable but de rechercher les modifications que cet agent pouvait faire subir aux différentes phases de la division.

Nous trouvons dans le travail de M. Strasburger (**)

(*) MAUPAS. *Loc. cit.*, p. 250.

(**) *Zellbildung und Zelltheilung.* Dritte auflage, 1880, p. 380, pl. VIII, fig. 38-55.

Zellbildung und Zelltheilung quelques données sur le temps qui s'écoule pendant une division complète du noyau, dans les cellules des poils staminaux de *Tradescantia virginica* et de *Spirogyra*, mais la température exacte à laquelle les expériences ont été faites n'est pas signalée. Pour le *Tradescantia*, il a obtenu des divisions complètes en 3 heures 30 minutes environ.

Ce chiffre est supérieur à celui que j'ai trouvé; cette différence provient sans doute du moment où l'on prend le noyau et de la variété qui sert à l'expérience.

Les mêmes observations de M. Strasburger sont reprises dans le « Botanische Practicum (*) ». Dans son travail sur le rôle du noyau dans la division des cellules végétales, M. Treub donne également quelques séries d'expériences sur la division, pour lesquelles il a noté la durée des phénomènes caryocinétiques. Ces expériences ont été faites sur les filaments proembryonnaires de l'*Orchis latifolia* et de l'*Epipactis palustris*. Mais ici également des indications relatives à la température à laquelle ces durées ont été observées nous manquent complètement.

Les études de M. Olivier (**) ont montré que la formation des noyaux avait certains rapports avec la pression, ou du moins que l'accroissement des cellules était en rapport avec la pression. Car en diminuant cette dernière, il a obtenu des cellules géantes dans lesquelles le nombre des noyaux était assez considérable. M. Prillieux (***) a obtenu le même résultat en faisant agir la

(*) STRASBURGER. *Bot. practicum.* Iéna, 1887, p. 568.

(**) OLIVIER. *Expériences sur l'accroissement des cellules et la multiplication des noyaux*, in *Bull. de la Soc. de bot. de France*, t. XXIX, mars 1882.

(***) PRILLEUX. *Comptes rendus*, 1881, t. XCII, p. 147.

chaleur; il à vu les cellules parenchymateuses de la courge et du haricot augmenter de volume en même temps que le nombre de noyaux allait croissant, sans qu'il y ait pour cela division cellulaire. Mais dans ces cas il n'y a plus division caryocinétique du noyau, il y a multiplication par simple étranglement.

Dans une note, publiée par M. Chabry dans les *Comptes rendus de la Société de biologie de Paris*, l'auteur a démontré que, par une compression pas trop énergique des œufs, il y avait encore caryocinèse, mais que la division cellulaire s'effaçait (*).

L'action de la température sur les autres phénomènes vitaux a été pour quelques cas déjà bien étudiée; il reste à voir si sur le phénomène physiologique de la division nucléaire le même facteur a une action marquée.

On a pu déterminer pour la faculté germinative et pour la croissance d'un certain nombre de plantes, un minimum au-dessous duquel, et un maximum au-dessus duquel le phénomène ne se produit pas; enfin un point intermédiaire optimum, qui convient le mieux au développement. Dans un travail sur la fécondation (**), M. Errera a énoncé cette loi de l'optimum de la façon suivante : « Tout phénomène vital qui est fonction d'une variable commence à se produire à partir d'un certain état de la variable (minimum), se réalise de mieux en mieux à mesure que la variable croît jusqu'à un état déterminé (optimum), après quoi un accroissement de la variable fait se réaliser de moins en moins bien le phénomène; celui-ci s'arrête enfin quand la variable a atteint une certaine valeur optimum. »

(*) *Comptes rendus de la Soc. de biol. de Paris*, 7 juillet 1888.

(**) ERRERA et GEVAERT. *Sur la structure et sur les modes de fécondation des fleurs*, in *Bull. Soc. roy. bot. de Belgique*, 1878, p. 246.



En 1860, dans son travail publié dans les *Jahrbücher* de Pringsheim (*), M. Sachs nous a fait connaître les températures maximum optimum et minimum de germination d'un assez grand nombre de graines ; en 1864 dans le *Flora* (**), il indique, d'après une série d'expériences, les températures pour le mouvement protoplasmique.

Avant cette époque, plusieurs auteurs avaient déjà appelé l'attention sur les températures minima et maxima de végétation.

M. Errera est le premier qui ait signalé la portée générale de cette loi. En 1864, M. Sachs, dans son *Traité de botanique* (***), en avait encore exposé un cas particulier se rapportant aux points extrêmes entre lesquels les phénomènes vitaux se produisent. Ils seraient confinés entre 0° et 50°. Comme l'auteur en convient l'on ne peut assigner de limites générales aux phénomènes de la vie, car elles varient énormément d'un genre et d'une espèce à l'autre et même entre deux plantes d'une même espèce suivant les conditions auxquelles elles ont été soumises. Plus tard, dans ses *Vorlesungen* (****) de 1882, il arrive également à une généralisation analogue.

D'après tous ces faits, nous voyons que la chaleur a une grande influence sur la végétation. Cette action s'exerce-t-elle également sur le noyau cellulaire? Nous verrons que oui.

(*) SACHS. *Physiologische Untersuchungen über die Abhängigkeit der Keimung von der Temperatur*, in *Jahrb. Wissenschaft*, 1860, p. 338 377.

(**) SACHS. *Ueber die obere Temperatur-gränze der Vegetation*, in *Flora* (Regensburg), 1864, p. 69.

(***) SACHS. *Lehrbuch der botanik*, Leipzig, 1868, p. 558.

(****) SACHS. *Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie*, Leipzig, 1882, p. 233.

Pour démontrer l'action de la température sur le noyau et sur la division cellulaire, j'ai fait plusieurs séries d'expériences, sur trois espèces végétales différentes, appartenant l'une aux plantes phanérogames, les deux autres aux cryptogames.

Les premières séries ont été faites sur la division nucléaire du *Spirogyra*, les secondes sur les noyaux bien connus des poils staminaux de *Tradescantia*, et les troisièmes sur les *Cosmarium*.

J'exposerai d'abord les résultats des expériences faites sur les *Spirogyra*, puis ceux que j'ai obtenus par la culture des cellules des poils staminaux de *Tradescantia*, enfin ceux obtenus dans l'étude des *Cosmarium*.

I

SPIROGYRA

La spirogyre qui a servi à mes expériences a été récoltée pendant tout l'hiver, à partir du mois d'octobre 1889; il m'a été possible de l'étudier jusqu'au mois de février dernier, mais brusquement, à la fin de ce mois, par suite de travaux exécutés dans les environs du ruisseau où elle végétait en abondance, l'espèce a disparu et je n'ai pu l'observer à nouveau jusqu'à ce jour. Cette forme est une des grosses espèces voisines du *Sp. crassa*; elle est caractérisée par des cellules assez courtes, présentant de grandes analogies avec celles de l'espèce sur laquelle M. Strasburger a fait sa première étude (*).

Malgré le grand nombre de bandes chlorophyliennes, qui tapissent la paroi interne de la cellule, le noyau relativement très gros se voit bien et l'on peut suivre

(*) STRASBURGER, *Ueber Kern-uud Zelltheilung*, p. 3 et suivantes, p. 213.

facilement sur le vivant, les différentes phases de la division nucléaire.

Cette division a fait l'objet de beaucoup de travaux, les auteurs ont émis plusieurs opinions opposées. Certains admettent chez ce noyau une structure exceptionnelle et le rangent dans une catégorie spéciale, celle des « nucléoles-noyaux » (*).

D'autres y voient un noyau assez ordinaire, qui ne différerait du type que par une moins grande condensation de matière chromatique dans la portion externe, et par la présence d'un gros nucléole (**). Je ne puis entrer ici dans la discussion nécessaire pour vider cette question, je ne puis que renvoyer aux auteurs qui ont publié sur cette question (***), me réservant de reprendre plus tard cette étude.

Presque tous les auteurs qui ont étudié la division cellulaire chez les spirogyres, l'ont observée la nuit. M. Sachs, dans son traité de botanique nous dit : « Um die Theilungen zu beobachten, ist es nöthig, kräftig vergetirende Fäden nach Mitternacht in sehr verdünnter Alkobol zu legen um sie später zu beobachten, da die Theilungen nur Nachts statfinden » (****). Il en est de même pour Al. Braun, qui trouve les spirogyres en division pendant les toutes premières heures du jour. Al. Braun est certainement le premier qui ait observé la

(*) J.-B. CARNOY. *Biologie cellulaire*, fasc. I, p. 236.

(**) STRASBURGER. *Ueber Kern- und Zelltheilung*, p. 3 et suivantes, p. 213.

(***) Voyez aussi STRASBURGER. *Zellbildung und Zelltheilunq*, *loc. cit.*
MEUNIER. *Le nucléole des Spirogyra.*
MACFARLANE. *The structure and division of the vegetable cell.*
TANGI. *Ueber die Theilung der Kerne in Spirogyra Zellen* in *Sitzb. K. Akad. der Wissensch.* 1 Abth, 1882.
SACHS. *Lehrbuch der botanik.*

(****) SACHS. *Lehrbuch der botanik.*

division cellulaire chez cette algue ; ses observations sont naturellement incomplètes, mais déjà à cette époque il a attiré l'attention sur le nucléole (*).

Plus tard en 1880, M. Strasburger nous dit : « Die Spirogyren theilen sich des Nachts, der Vorgang pflegt zwischen 10 und 12 Uhr zu beginnen. Man kann ihn auf den Tag verlegen, wenn man die Pflanzen des Nachts über niederen Temperaturen, oberhalb 0°, doch unterhalb + 5° C., aussetzt (**) ». Dans un de ses derniers travaux, nous trouvons à nouveau le même fait signalé, pour l'espèce qu'il a appelée *Spirogyra polytaeniata* (***).

M. Pringsheim est le seul qui paraisse avoir vu la division en plein jour dans les conditions naturelles de végétation (****).

La presque totalité des divisions que j'ai suivies se sont présentées pendant le courant de la journée, le point de départ se trouvant entre 8 heures et 10 heures du matin ; j'ai cependant fréquemment observé des cellules entrant en division l'après-midi vers 3 et 4 heures. Au contraire en fixant, vers 12 heures de la nuit, des matériaux, qui avaient été récoltés pendant la journée, je n'ai trouvé que fort peu de phases et parmi celles-ci, presque toutes se rapportaient aux derniers stades de la caryocinèse.

Si nous ne possédions que les données des auteurs, que je viens d'exposer plus haut, l'on serait tenté de croire à l'intervention de la lumière, qui exercerait

(*) BRAUN. *Rejuvenescence in Nature.* Traduction anglaise de Henfrey, p, 237.

(**) STRASBURGER. *Zellbildung und Zelltheilung*, p. 171.

(***) STRASBURGER. *Ueber Kern- und Zelltheilung*, p. 325.

(****) PRINGSHEIM. *Untersuchungen über Bau und Bildung der Pflanzenzelle.* Erste Abtheilung. Berlin, 1854.

une influence contraire à la multiplication cellulaire.

J'ai pu cependant établir, que la lumière n'a pas d'action bien sensible sur les phénomènes caryocinétiques.

Des séries d'expériences parallèles ont été faites à la lumière et à l'obscurité : la différence qui a été observée entre les cellules exposées à la lumière et à l'obscurité, n'a pas été plus forte que celle que l'on remarque quelquefois entre deux cellules mises toutes deux à la lumière; cette différence provient donc d'autres causes.

Il faut noter que les expériences qui ont donné lieu aux observations de Sachs et de Strasburger ont eu lieu pour la plupart en été, tandis que je les ai faites en hiver, alors que l'eau dans laquelle je récoltais les *Spirogyra* n'avait pas une température qui dépassait 2°. Le procédé indiqué par M. Strasburger et qui consiste à refroidir l'eau dans laquelle sont conservées les algues, prouve tout au moins, que les températures basses ne sont pas propices à la division cellulaire, et dans mes récoltes en plein air, je me rapprochais donc de cette expérience.

M. Pringsheim (*), pour la division chez les *Conferva*, n'a pu déterminer non plus un moment exact du jour, pendant lequel le phénomène s'accomplirait ; il a observé la multiplication cellulaire le matin, l'après-midi et le soir. Pour le *Cladophora*, le matin conviendrait le mieux, pour l'*Oedogonium*, ce serait l'après-midi. Il y aurait à rechercher quelles sont les causes qui déterminent ce choix pour ces deux dernières algues.

L'on suit facilement la division du noyau chez la *Spirogyra crassa*. Il suffit de placer sous le mieroscope quelques filaments et de porter son attention sur une

(*) PRINGSHEIM. *Loc. cit.*, p. 78-79.

cellule dont le noyau se trouve dans la première phase de division. Les filaments à examiner sont placés dans l'eau du ruisseau où ils ont été récoltés, afin d'éviter les erreurs qui pourraient provenir d'un changement de milieu. Ce qui rend l'observation facile, est la façon dont les stades principaux de la division sont marqués : ils sont bien distincts les uns des autres, le noyau passant souvent presque instantanément d'une forme à une autre.

Le premier stade est, comme on sait, caractérisé par une augmentation de volume du noyau et en même temps, il se forme à la face interne de la membrane cellulaire un cercle de microsomes qui indique l'endroit où va se former la nouvelle cloison. Cette membrane ne se constitue pas ici, comme dans la division ordinaire, d'une façon centrifuge, à l'aide d'un phragmoplaste (*) ou corps lenticulaire, mais d'une façon centripète.

Un noyau se trouvant dans cette première phase de division n'est pas toujours forcé de passer par les stades suivants. On peut remarquer en effet fréquemment qu'un noyau dans cet état, et même lorsqu'il a atteint des stades plus avancés dans la division caryocinétique, aussi longtemps que le nucléole n'a pas été entamé, peut revenir à l'état de repos, laissant sur la membrane la trace d'une formation interrompue de membrane, le reste de la cellule paraissant absolument normal.

Nous verrons d'ailleurs le même fait se reproduire dans l'étude suivante, mais là il n'y aura plus la première ébauche d'une membrane qui viendra nous indiquer qu'il y a eu rétrogradation.

Quelles sont les causes qui agissent dans ce cas? Il

(*) Phragmoplaste, L. ERRERA, in *Tageblatt naturforsch. Versamen. Wiesbaden* 1887, n° 8, reprod. in *Biol. Centralbl.*, 1er fév. 1888.

est probable qu'elles sont internes, liées peut-être à la nutrition.

On peut en tous cas affirmer que, aussi longtemps que le nucléole n'a pas subi de modifications visibles, le noyau peut revenir à l'état de repos et la cellule reprendre son état normal.

Placé à une température variant entre 20° et 23° C., un noyau qui se trouvait dans une des prophases, considérablement gonflé, dans l'état que j'ai représenté pl. I, fig. 1, a subi les modifications suivantes. Après avoir passé par les stades intermédiaires, figures 2 et 3, il a rétrogradé et a repris au bout de sept heures environ une forme arrondie à gros nucléole central, analogue à sa forme primitive. Il y a, il est vrai, ici un cas spécial, peut-être un cas pathologique, car toutes les cellules contenues dans la culture avaient un noyau plus ou moins modifié, toutes paraissaient malades. Les bandes de chlorophylle étaient contractées et le mouvement protoplasmique très lent, pour ne pas dire nul.

Après la phase rectangulaire, la figure que revêt le noyau est celle de deux cônes tronqués, accolés par leurs sommets. Peu de temps après il se forme une masse rectangulaire dont le grand axe est perpendiculaire à celui de la figure que représentait le noyau dans la phase antérieure.

C'est le moment de la fragmentation interne du nucléole (boyau nucléinien?), car bientôt se forme un fuseau dont les deux extrémités attirent chacune d'un côté les anses nécessaires à la formation des noyaux filles.

La forme que présentent ces deux extrémités, constituées par des amas de protoplasme granuleux, est caractéristique et constante; je les ai toujours vues telles que

je les ai figurées dans la pl. I, fig. 5. Dans les phases suivantes, cet amas de protoplasme disparaît complètement.

Les deux nouveaux noyaux formés qui sont encore rattachés à la jeune membrane, laissent entre eux une cavité sphérique. Petit à petit cette cavité diminue, la membrane s'achève et les deux noyaux ne se trouvent plus réunis que par un pont de protoplasme, dans lequel les microsomes sont animés d'un mouvement très rapide. Le pont protoplasmique finit par disparaître et les deux noyaux filles entièrement formés, sont rejetés chacun vers le milieu de leur cellule respective.

Mes expériences n'ont malheureusement pu aboutir pour des températures inférieures à 3° au-dessus de zéro; je n'ai pu observer à ce degré la division complète. Un fait que j'ai remarqué souvent est que, enchâssées dans la glace, les spirogyres continuent à vivre et que l'on peut les extraire facilement du bloc qui les contient, grâce probablement à la couche de mucilage qui les enveloppe et qui les protège peut-être contre l'action de trop basses températures. Si l'on examine les filaments ainsi extraits, l'on ne trouve rien d'anormal dans leur structure. Cette propriété existe d'ailleurs chez beaucoup d'autres algues.

Entre 3° et 4°, de même qu'entre 4° et 5°, une division complète n'a pu être observée. Mais on peut la déterminer approximativement, en comparant la durée de deux phases connues avec celle des mêmes phases à une température où la division a pu être suivie entièrement. On trouve ainsi que la durée doit être d'environ quatorze heures, chiffre qu'il serait nécessaire de vérifier par l'expérience.

Entre 6° et 7°, j'ai pu obtenir des divisions complètes en douze heures environ. Plus la température augmente,

plus nous allons voir la durée diminuer ; entre 8° et 9°, la division complète s'effectue en neuf heures environ. Pour la température supérieure suivante, entre 10° et 11°, vient se produire un écart : plusieurs expériences ont donné des résultats variant entre dix heures vingt minutes et onze heures vingt minutes. C'est surtout sur les dernières phases qu'a porté le ralentissement. Ces résultats, obtenus le même jour, nous fourniraient un optimum entre 8° et 9° ; ce qui n'est cependant pas exact, car si nous voyons les chiffres suivants, nous allons trouver une nouvelle diminution par rapport à ce que nous avons obtenu pour les expériences faites entre 8° et 9°. A quoi est dû cet écart ? Il ne peut, ce me semble, se rapporter qu'à des variations individuelles ou à des conditions défavorables subies par les filaments le jour précédent ou pendant la durée de l'expérience.

A 12°, la division totale s'obtient en un temps variant de six heures quinze minutes à sept heures. A 13°, la courbe commence à changer de direction, la durée de la division augmente, la moyenne de plusieurs expériences nous donne huit heures. Entre 14°-15°, les résultats obtenus sont très différents et tendraient, si l'on ne tenait compte que de certains d'entre eux, à former un nouvel optimum ; mais si l'on en fait une moyenne, nous continuons la courbe ascendante avec une durée de huit heures trente minutes. Ces différences montrent bien que toutes les cellules ne sont pas équivalentes, la plupart de ces expériences ayant été faites le même jour, sur des matériaux pris au même endroit.

Entre 15° et 16°, la durée de la division est d'environ dix heures ; à la température plus élevée 16°-18°, elle est de onze heures. Si nous continuons à élever la température, les expériences ne réussissent plus et, comme je

l'ai dit plus haut, entre 20° et 23° le noyau acquiert une forme pathologique et la cellule ne peut plus reprendre son état normal.

Le point optimum pour la division caryocinétique chez cette espèce de *Spirogyra*, dans les conditions où elle a été récoltée, se trouverait vers 12° au-dessus de zéro, le maximum vers 20°.

Dans le tableau I, nous trouvons la durée totale de la division cellulaire placée en regard de la température à laquelle l'expérience a été faite. Les temps écoulés sont les moyennes obtenues dans quelques expériences; si les résultats étaient assez différents, j'ai noté les durées extrêmes entre lesquelles la caryocinèse s'était effectuée.

TABLEAU I.

Résumé des observations.

TEMPÉRATURE	DURÉE TOTALE DE LA DIVISION
3°-4°	Au delà de 14 heures.
4°-5°	14 h.
6°-7°	12 h.
8°-9°	9 h.
10°-11°	10 h. 20 m.-11 h. 20 m.
12°	6 h. 15 m.-7 h.
13°	8 h.
14°-15°	8 h.-30 m.
15°-16°	10 h.
16°-18°	11 h.
20°-23°	Rétrogradation.

Ces résultats sont, comme je l'ai dit, fournis par des expériences faites sur des matériaux pris à 2° au-dessus de zéro. Certaines expériences faites au mois d'octobre dernier, mais dont la série n'a pu être terminée, ont donné des résultats qui me paraissent prouver de la façon la plus évidente, l'action de la température antérieurement subie par la cellule mise en expérience. A 13°, la

division totale qui, pour les échantillons pris à 2° au-dessus de zéro, demandait huit heures, n'a pris qu'environ six heures. Cette différence doit provenir de la température subie, car si nous prenons la moyenne des températures d'octobre, nous trouvons 14°, température qui se rapproche beaucoup de l'optimum trouvé dans mes expériences. Je n'ai malheureusement pas de données sur la température de l'eau dans laquelle les filaments qui avaient servi à ces expériences avaient été récoltés.

TABLEAU II.

TEMPÉRATURE	FIGURE 1	FIGURE 4	FIGURE 5	NOMBRE D'EXPÉRIENCES
4°-5°	9 h. 50 m.	10 h. 35 m.	12 h. 55 m.	4 expériences.
6°-7°	9 h.	10 h. 5 m.	11 h. 30 m.	3 —
8°-9°	9 h. 5 m.	9 h. 55 m.	11 h. 10 m.	»
»	»	9 h. 15 m.	10 h. 30 m.	»
»	8 h. 40 m.	9 h. 20 m.	10 h. 35 m.	»
»	3 h. 20 m.	4 h. 5 m.	»	5 expériences.
10°-11°	9 h. 40 m.	10 h. 20 m.	11 h. 40 m.	»
»	2 h.	2 h. 35 m.	3 h. 50 m.	»
»	8 h. 40 m.	9 h. 30 m.	10 h. 55 m.	»
»	8 h. 35 m.	9 h. 35 m.	10 h. 55 m.	4 expériences.
12°	9 h.	9 h. 50 m.	10 h. 30 m.	2 —
13°	8 h. 30 m.	9 h. 10 m.	»	»
»	9 h. 10 m.	9 h. 50 m.	10 h. 50 m.	»
»	9 h.	9 h. 30 m.	»	»
»	8 h. 45 m.	9 h. 30 m.	10 h. 5 m.	»
»	9 h. 55 m.	10 h. 45 m.	11 h. 30 m.	»
»	8 h. 50 m.	9 h. 15 m.	10 h. 30 m.	9 expériences.
»	9 h. 5 m.	9 h. 35 m.	10 h. 40 m.	»
14°-15°	8 h. 35 m.	9 h. 25 m.	»	»
»	11 h. 45 m.	»	1 h.	»
»	9 h. 15 m.	9 h. 45 m.	10 h. 30 m.	»
»	8 h. 35 m.	9 h. 20 m.	10 h. 15 m.	»
»	9 h. 5 m.	10 h. 15 m.	11 h. 10 m.	»
»	9 h. 20 m.	10 h.	11 h.	10 expériences.
15°	9 h. 30 m.	9 h. 55 m.	10 h. 40 m.	2 —
15°-16°	2 h. 10 m.	2 h. 50 m.	»	»
»	8 h. 30 m.	9 h. 10 m.	»	»
»	9 h.	9 h. 40 m.	10 h. 15 m.	»
»	8 h. 30 m.	9 h. 25 m.	»	8 expériences.
16°-18°	11 h. 10 m.	11 h. 55 m.	»	»
»	10 h. 50 m.	11 h. 25 m.	11 h. 50 m.	4 expériences.
20°-23°	9 h.	Rétrogradation.	»	2 —

(Les chiffres de la première colonne correspondent aux températures d'expérience; les trois colonnes suivantes donnent les heures auxquelles les phases représentées par les figures 1, 4 et 5 de la planche ont été atteintes. Les lignes horizontales montrent les durées observées successivement sur une même cellule.)

Dans le tableau qui précède, je donne quelques chiffres correspondant à la durée des phases indiquées en tête des colonnes; le résultat de toutes les expériences n'a pas été indiqué. Le nombre des expériences a été bien plus considérable, mais un certain nombre d'entre elles n'ont pas donné des résultats suffisamment complets pour être relevés.

Du tableau I, nous pouvons déduire le temps qui s'écoule entre les phases pour lesquelles les durées ont été notées; en prenant une moyenne, nous obtenons le tableau suivant :

TABLEAU III.

TEMPÉRATURE	DURÉE DE LA PHASE figures 1 à 4	DURÉE DE LA PHASE figures 1 à 5
4°-5°	45 minutes.	3 h. 5 m.
6°-7°	55 —	2 h. 30 m.
8°-9°	45 —	2 h.
10°-11°	40 —	1 h. 40 m.
12°	50 —	1 h. 30 m.
13°	38 —	1 h. 34 m.
14°-15°	43 —	1 h. 30 m.
15°-16°	44 —	1 h. 15 m.
16°-18°	40 —	1 h.

Un autre point qu'il est nécessaire d'étudier, c'est celui de savoir s'il y a proportionnalité entre les différentes durées exigées par deux phases à une température donnée, par rapport au temps global de caryocinèse, et les mêmes phases à une autre température.

Pour autant qu'il m'a été possible d'étudier cette question, je dois répondre négativement. La comparaison n'a pu être faite que pour trois phases. Pour la première des trois, on voit un résultat inverse à celui que l'on devrait

trouver, c'est-à-dire que, en augmentant la température jusqu'à 18°, la durée entre la phase où le noyau se trouve gonflé et celle où il prend la forme d'un fuseau allongé, au lieu de présenter un optimum à 12°, la présente entre 16°-18°. Ici donc l'optimum qui s'applique à la division totale ne coïncide pas avec celui des phases.

Il est possible que si les expériences pouvaient se continuer au delà de 18°, sans entraîner la mort de la cellule, nous verrions la courbe remonter (voyez le graphique, tableau V, *b* et *c*), mais à 20° le noyau n'atteint plus la phase qui a servi de point de comparaison. Il est possible aussi qu'une température aussi élevée soit favorable à la croissance de l'algue, aussi longtemps que celle-ci n'y est soumise que pendant quelques instants; si l'exposition devient trop longue, la chaleur influant sur d'autres portions de la cellule en entraîne probablement la mort.

Pour une autre phase, dont la durée est donnée dans le tableau III (phase figures 1 à 4), nous obtenons des valeurs qui, dans une portion de la courbe, suivent le tracé précédent, mais qui, dans les dernières portions, reviennent également vers le bas.

Pour une troisième phase, qui comprend le passage de la forme figure 1 à l'état représenté par la figure 8, des expériences directes et quelques calculs m'ont conduit aux durées consignées dans le tableau suivant; ces résultats concordent avec les deux précédents.

TABLEAU V

Graphique résumant la durée de la division caryocinétique (noyau de Spirogyra)

(**) STRASBURGER. *Ueber ein zu Demonstration geeignetes Zelltheilungs-Objekt*, in *Sitzungsber. Jenaischen Gesellschaft*, 1879, p. 93.

Ce n'est qu'en 1880 que ce dernier, dans son remarquable travail sur la division cellulaire, a publié le résultat complet de ses études, tant sur le vivant que sur des matériaux fixés et colorés, et qu'il a figuré les stades de la caryocinèse chez cette plante (*).

En 1884, un de nos compatriotes, feu le docteur Bernimoulin a également publié une note sur la division du noyau dans les cellules-mères des stomates et des grains de pollen et dans les poils staminaux du *Tradescantia* (**).

La culture se fait dans une solution sucrée à 3 p. 100; elle n'offre pas grande difficulté, pour autant que l'on expérimente sur des plantes normales et que l'on opère pendant la saison d'été. Des essais faits pendant l'hiver sur des fleurs de *Tradescantia* cultivés en serre, ne m'ont fourni aucun résultat.

Le *Tradescantia* que j'ai employé croissait en plein air; les plantes avaient une hauteur d'environ 50 centimètres; la tige était épaisse et les feuilles mesuraient environ 3 centimètres de large; les fleurs, assez grandes étaient rose violacé.

Pour l'observation, on prend les jeunes boutons, encore enfermés dans la base des feuilles, on enlève les sépales et les pétales à l'aide d'une pince; on sépare ensuite les étamines que l'on prive de leurs anthères. Les filets munis de leurs poils sont déposés, dans une gouttelette d'eau sucrée à 3 p. 100, sur une lamelle de verre que l'on renverse au-dessus d'une chambre humide.

Les poils les plus propices à l'observation de la divi-

(*) STRASBURGER. *Zellbild. und Zelltheilung*, pl. VIII.

(**) Note sur la division des noyaux, dans le *Tradescantia virginica*, in *Bull. de la Soc. royale de bot. de Belgique*, 1884, 1re p., p. 7.

sion nucléaire sont ceux qui sont formés de filaments à parois parallèles et dont le suc cellulaire n'est pas encore coloré. Les meilleures cellules sont généralement celles qui terminent les filaments. La chambre humide à l'aide de laquelle j'ai fait mes expériences est formée par un morceau de carton humecté, percé d'une ouverture circulaire ou rectangulaire, que l'on place sur un porte-objet ordinaire.

Le tout a été préalablement stérilisé, par un séjour de quelques minutes dans l'eau bouillante; on peut alors continuer les expériences pendant plusieurs jours sans voir apparaître trop de bactéries ou de mycéliums de champignons.

Pour obtenir une température basse ou élevée, j'ai fait usage de l'appareil décrit et figuré par Sachs (*) (*Wärmekasten*). Il consiste en une caisse de zinc à double paroi; à l'intérieur, on place le microscope, et sur la platine de celui-ci, on fixe la préparation que l'on veut étudier. La caisse est munie d'un couvercle en zinc au travers duquel passe le tube et la vis de rappel du microscope. La partie antérieure de la caisse est munie d'une ouverture rectangulaire fermée par une plaque de verre qui permet l'éclairage. Par le couvercle passe encore un thermomètre qui donne la température intérieure de la caisse.

La forme que j'ai donnée à l'appareil qui m'a servi diffère peu de celle que lui donne Sachs, les changements introduits ne sont que des variations de détail.

Pour les températures élevées on peut chauffer l'appareil en entier par une veilleuse, comme le recommande M. Sachs, ou bien entretenir la chaleur en ajoutant de

(*) SACHS. *Vorlesungen über pflanzenphysiologie.*

temps en temps à l'eau contenue entre la double paroi, de l'eau bouillante. A cet effet l'on ménage dans le couvercle deux ouvertures communiquant avec le réservoir interne. Pour les températures basses, au lieu d'eau chaude, il suffit de placer de la glace ou un mélange réfrigérant.

Dans son travail relatif à l'action de la chaleur sur le mouvement protoplasmique, M. Sachs nous donne le résultat d'expériences faites sur des poils de *Tradescantia virginica;* à 49° C., le protoplasme ne se meut plus. Entre 46° et 48°, le même phénomène se reproduit au bout d'un court séjour à cette température, mais si l'on enlève le bouton de ce milieu pour le placer dans un milieu plus propice, le mouvement reprend.

Dans les expériences que j'ai faites, j'arrive à un résultat un peu différent; à la température de 45°-46°, que ces poils ont supportée très bien, j'ai au contraire vu un mouvement très accusé du protoplasme et, comme nous le verrons plus loin, une activité très grande du contenu cellulaire, puisque en trente minutes de temps j'ai pu observer la division complète du noyau et de la cellule.

Pour le *Tradescantia*, nous ne trouvons pas, comme dans les autres cas où la loi de l'optimum peut s'appliquer, un optimum suivi d'une série de températures différentes pour lesquelles le phénomène peut encore s'effectuer, mais d'une manière moins rapide; mais nous voyons presque immédiatement après l'optimum se présenter le maximum.

La première phase de division est caractérisée par la disparition du nucléole, et par la visibilité de la substance chromatique qui se présente sous l'aspect de

granules passant ensuite à la forme d'anses. On peut considérer une division comme terminée quand, une fois la membrane nouvelle rattachée aux deux parois, on voit apparaître, dans la masse protoplasmique qui la recouvre, des vacuoles ne laissant plus qu'une légère couche de protoplasme. C'est cette phase qui m'a servi de point de comparaison final (fig. 19). Si l'on prend des cellules de *Tradescantia*, qu'on les place dans une atmosphère dont la température oscille entre 8° et 9°, on ne peut suivre jusqu'à la fin la division; si l'on a eu soin de bien fixer sous le microscope le noyau qui se trouvait dans une des prophases, l'on remarque quelquefois un commencement de division, mais on voit immédiatement, que la température basse occasionne un retard dans l'apparition des phases. Au bout de quelques heures, toute la structure cellulaire est désorganisée, il se forme dans l'intérieur un grand nombre de vacuoles et le noyau se désagrège.

Si l'on expose un noyau, entre 10° et 11°, on peut observer la division complète en 2 heures 15 minutes, chiffre moyen de quelques expériences faites généralement le même jour. Comme je l'ai dit pour le *Spirogyra*, l'on observe ici fréquemment des noyaux qui, dans les mêmes conditions, parfois dans une même culture côte à côte, offrent des différences de durée pouvant aller jusqu'à 30 minutes. Ces différences notables pourraient également provenir du fait que dans ces noyaux, surtout à l'état vivant, les premiers stades de division sont très difficiles à différencier les uns des autres; il est malaisé de juger de la disparition du nucléole et de la formation des anses.

Entre 13° et 14°, la durée totale de la division prend

2 heures 20 minutes; si nous continuons, entre 16° et 17°, les résultats varient de 2 heures à 1 heure 30 minutes, ce qui nous donne une valeur approximative de 1 heure 45 minutes. A 19°-20°, la durée n'est plus que de 1 heure 20 à 1 heure 25 minutes.

Ici viennent se placer quelques expériences dont le résultat n'est plus tout à fait en rapport avec la série descendante que nous avions obtenue jusqu'à présent. Plusieurs observations faites le même jour à une température variant de 20° à 21°. m'ont demandé de 1 heures 40 minutes à 2 heures 50 minutes; il y aurait donc ici, comme pour le *Spirogyra*, un premier optimum. Il est probable que cette différence assez considérable provient de l'individu même sur lequel l'expérience a été faite, ou que la température subie par la plante la nuit précédente lui a été pernicieuse et a retardé la division.

En examinant en effet la température qui a régné la nuit qui a précédé ces observations, nous la trouvons descendue entre 8° et 9°, c'est-à-dire vers le point minimum; ce qui pourrait expliquer le retard de la caryocinèse.

Si nous examinons les résultats obtenus à une température supérieure, nous trouvons entre 24° et 25° une durée de 1 h. 15 m. environ pour la division totale.

Entre 26° et 27°, le temps demandé pour l'ensemble des phénomènes caryocinétiques n'est plus que de 55 m., entre 30° et 31°, nous trouvons encore une fois un accroissement de même qu'entre 20° et 21°. J'ai obtenu à cette température une durée de 2 h. à 2 h. 15 m.; la différence doit provenir de l'individu même, car elle ne peut plus s'expliquer ici que par une différence calorifique des nuits précédentes, la moyenne ayant été la même que celles des nuits suivantes.

Entre 39° et 40°, nous ne trouvons plus que 30 à 35 minutes; mais une seule expérience faite à 43° nous fait à nouveau remonter à une durée de 1 h.; mais à 45°, la diminution s'accentue encore : nous obtenons un optimum de 30 m. pour la durée totale de division. Les expériences faites à 43° ont été observées l'après-midi; cette dernière circonstance peut-elle influer sur la caryocinèse ou est-ce un cas accidentel? Je n'ai pu étudier ce point, mais ce que j'ai remarqué, c'est la fréquence des divisions nucléaires le matin, le nombre allant en diminuant jusqu'au soir.

A une température favorable, telle que 45° à 46°, le nombre de noyaux entrant en division devient assez grand; c'est ainsi que des noyaux paraissant au repos et exposés peu de temps à cette température, sont entrés rapidement dans les prophases. La fréquence de la division serait donc en rapport avec la température.

Si nous continuons les expériences à 50° et au delà, nous n'obtenons absolument plus aucun résultat; la cellule exposée quelque temps à cette température se désorganise et ne reprend plus même à 20° sa structure normale. Pendant les premiers moments de son exposition, il peut cependant se faire un commencement de caryocinèse, mais généralement, lorsque le noyau arrive à la formation du fuseau, il s'arrête et le phragmoplaste n'apparaît pas; il ne se forme par conséquent pas de cloison. Les deux noyaux filles dégénèrent alors petit à petit. Dans la division normale, le phragmoplaste s'attache généralement à l'une des parois et gagne alors la paroi opposée à laquelle il se soude.

La figure 16 nous montre un phragmoplaste attaché d'un côté seulement à la membrane cellulaire.

TABLEAU VI.

Résumé des observations.

TEMPÉRATURE	DURÉE TOTALE DE LA DIVISION
8°-9°	Pas de continuation dans la division.
10°-11°	2 h. 15 m.
13°-14°	2 h. 20 m.
16°-17°	1 h. 45 m.
19°-20°	1 h. 25 m.
20°-21°	1 h. 40 m.-2 h. 50 m.
24°-25°	1 h. 15 m.
26°-27°	55 m.
30°-31°	2 h.-2 h. 15 m.
35°-36°	45 m.
39°-40°	35 m.
43°	1 h.
45°	30 m.
50°	Pas de continuation dans la division.

Dans des expériences toutes récentes, M. Hertwig a obtenu par le froid des modifications assez curieuses. Toutes les parties achromatiques des figures de division disparaissent, les portions chromatiques seules résistent. Par l'action de la chaleur, les premières réapparaissent (*). J'ai obtenu des résultats analogues, mais pas par l'action du froid; il est vrai que je n'ai pu faire des expériences à un froid aussi considérable. Par l'action de la chaleur, j'ai obtenu, comme nous l'avons vu, la division du noyau sans formation de phragmoplaste et, comme conséquence, pas de membrane. L'observation est isolée : on ne peut donc pas en tirer de conclusions générales. Dans des expériences récentes, comme je l'exposerai plus loin, j'ai remarqué que des Desmidiées en division

(*) O. HERTWIG. *Experimentelle studien am Thierischen Ei, vor wahrend und nach den Befruchtung* (*Jena. Zeitschrift.* 1890, Bd. XXIV, p. 268), v. ref. in *Natnrwisschf. Rundsch. in Brauschweig.* Juin 1890, n° 25, p. 328-330.

à des températures basses ne formaient pas de nouvelle membrane, le noyau se divisant normalement.

Comme nous le voyons, le noyau soumis à des degrés de chaleur différents, ne suit, pour le *Tradescantia virginica*, la loi générale de l'optimum que pour autant que nous considérions cet optimum très proche du maximum. Ce serait en quelque sorte l'analogue de ce qui se passe pour l'action de la chaleur sur la respiration; là aussi la vitesse augmente constamment avec la température, jusqu'à ce que la mort survienne; la courbe indiquant le phénomène ne nous montre également aucun retour. La fréquence de la division suit peut-être aussi la même marche, car, comme je l'ai dit plus haut, le nombre de divisions paraît augmenter avec la chaleur, mais il ne m'a pas été possible de déterminer la valeur de cette augmentation.

La proportionnalité entre la durée des différentes phases peut exister, mais je ne puis établir de lignes complètes, ne possédant pas de points de repère suffisants. Ce sont d'ailleurs des points assez difficiles à déterminer pour le *Tradescantia*, car sur le vif une phase passe à l'autre sans donner lieu à des figures bien tranchées.

C'est ce fait probablement qui a donné lieu, au moins en partie, aux quelques résultats discordants que nous trouvons dans cette étude.

L'action des températures extrêmes paraît néanmoins prépondérante sur les premières et les dernières phases de la caryocinèse.

Dans le tableau suivant, nous trouvons le détail des expériences ayant pu être suivies pendant un certain temps.

TABLEAU VII.

TEMPÉRATURE	FIGURE 13	FIGURE 14	FIGURE 19	NOMBRE D'EXPÉRIENCES
8°-9°	1 h. 25 m.	2 h. 15 m.	"	"
10°-11°	1 h. 45 m.	"	4 h.	"
13°-14°	9 h.	9 h. 55 m.	11 h. 20 m.	"
16°-17°	1 h. 55 m.	3 h. 20 m.	3 h. 50 m.	"
"	11 h. 55 m.	"	1 h.	"
"	"	11 h. 25 m.	12 h. 30 m.	"
"	11 h.	11 h. 15 m.	12 h. 30 m.	7 expériences.
19°-20°	1 h. 5 m.	1 h. 40 m.	2 h. 30 m.	"
"	2 h. 10 m.	3 h. 10 m.	3 h. 35 m.	3 expériences.
20°-21°	9 h. 55 m.	"	11 h. 35 m.	"
"	9 h. 55 m.	"	11 h. 40 m.	"
"	9 h. 55 m.	"	12 h. 50 m.	"
24°-25°	2 h. 40 m.	2 h. 55 m.	3 h. 45 m.	"
"	1 h. 20 m.	"	2 h. 35 m.	"
"	9 h. 35 m.	"	10 h. 35 m.	5 expériences.
26°-27°	2 h. 55 m.	"	3 h. 45 m.	"
"	1 h. 40 m.	"	2 h. 35 m.	3 expériences.
30°-31°	8 h. 55 m.	"	11 h.	"
"	1 h. 45 m.	"	3 h.	3 expériences.
35°-36°	1 h. 55 m.	2 h. 7 m.	2 h. 40 m.	"
"	8 h. 10 m.	8 h. 15 m.	9 h.	3 expériences.
39°-40°	8 h. 10 m.	"	8 h. 40 m.	"
"	8 h.	8 h. 30 m.	8 h. 45 m.	"
"	8 h.	8 h. 10 m.	8 h. 35 m.	4 expériences.
45°	1 h. 15 m.	"	2 h. 15 m.	2 —
45°-46°	8 h. 30 m.	"	9 h.	"
"	9 h. 45 m.	10 h.	10 h. 20 m.	3 expériences.

(Les chiffres de la premiere colonne correspondent aux températures d'expérience, les trois colonnes suivantes aux heures notées quand se sont présentées les phases figurées sous les numéros 13, 14 et 19 de la planche. Les lignes horizontales montrent les durées observées successivement sur une même cellule.)

Le grand nombre d'expériences qui n'ont fourni que des résultats incomplets est cause de ce que je ne puis dresser un tableau complet du temps qui s'écoule entre deux phases successives. Nous ne pouvons, en effet, déduire du tableau précédent que les quelques chiffres suivants, qui sont, comme on pourra le voir, souvent en désaccord avec la durée totale de la division cellulaire.

TABLEA

Graphique résumant la durée de la division c



TABLEAU VIII.

TEMPÉRATURE	DURÉE DE LA PHASE figures 13 et 14
8°-9°	1 heure.
13°-14°	55 minutes.
16°-17°	50 —
19°-20°	47 —
24°-25°	15 —
35°-36°	8 —
39°-40°	20 —
45°-46°	15 —

Le tableau graphique IX résume les observations précédentes et nous permet de les comparer.

III

COSMARIUM.

Avant de donner le résultat des expériences relatives à l'action de la chaleur, il sera nécessaire de donner la description de la forme étudiée et de sa division.

Le *Cosmarium* qui a servi à faire mes observations, est relativement petit. Son diamètre est d'environ 18 μ, sa hauteur de 25 μ; il est constitué par deux hémisomates ovales, un peu tronqués. Il possède de la chlorophylle qui, de face vue, remplit toute la cavité de l'hémisomate, et présente dans son intérieur un pyrénoïde entouré de grains d'amidon. Vu par la partie supérieure de la cellule, le chromatophore est échancré de chaque côté. Entre les deux hémisomates, dans la portion qui les relie entre eux, est logé le noyau. Celui même à l'état vivant montre en son centre un nucléole très apparent. Ce noyau présente d'ailleurs le même aspect que celui

des autres Desmidiées et de beaucoup de Diatomées. La carapace de cette forme de *Cosmarium* est lisse, mais si on l'observe avec un grossissement assez considérable, surtout lorsque l'algue est privée de son contenu, on remarque un pointillé très fin qui la recouvre complètement.

Si sur des matériaux fixés, c'est dans ce cas le liquide de Kleinenberg, qui m'a le mieux réussi, on fait agir du carmin boracique, on obtient une belle coloration du noyau. On peut alors, après un lavage suffisant, passer les cellules petit à petit dans la glycérine concentrée qui constitue un bon milieu d'examen. Par ce réactif, on trouve le nucléole fortement coloré en rouge, le reste du noyau étant simplement rosé.

Le mode de multiplication le plus ordinaire chez les Desmidiées est, comme on sait, la réduplication, c'est à dire une division cellulaire. La conjugaison paraît, du moins pour l'espèce qui nous occupe, et pour les *Cosmarium* en général, se faire moins fréquemment que dans d'autres groupes, par exemple chez les *Closterium*. Elle ne se fait d'ailleurs que dans les conditions peu favorables au développement, et est un mode de conservation de l'espèce et non de multiplication. La réduplication a fait l'objet de plusieurs études, M. De Bary dans son travail sur la famille des Conjuguées (*), a figuré et décrit la division du *Cosmarium Botrytis*. Dans un mémoire tout récent de M. Klebahn (**) il est fait mention de quelques phases de cette réduplication

(*) De Bary. *Untersuchungen über die Familie der conjugaten*, pl. VI, fig. 1-3.

(**) Klebahn. *Studien über zygoten I. Die Keimung von Closterium und Cosmarium*, in *Jahrb. f. Wissenschaft*, Bd. XXII, p. 415, pl. XIV, fig. 29-30.

chez une forme voisine de ce *Cosmarium*. Mais dans aucun des deux travaux, nous ne trouvons de données relatives à la température, et même les durées ne sont souvent indiquées que pour une ou deux phases successives. Aucune des descriptions si nombreuses de réduplication, décrites chez les autres Desmidiées appartenant au même groupe que les *Cosmarium*, ne sont accompagnées de déterminations de durées, correspondant à des températures données. Les seules Desmidiées pour lesquelles nous possédions encore quelques données relatives à la durée de la division sont les *Closterium*, sur lesquels je reviendrai plus loin.

Dans l'algue qui a servi à mes expériences, la division s'accomplit de la manière suivante. Les deux hémisomates s'éloignent petit à petit l'un de l'autre; dans la communication qui les relie entre eux, se trouve le noyau qui reste pendant assez longtemps dans son état normal. Au moment où cette communication revêt la forme que j'ai représentée dans la fig. 15, pl. II, se passent les premiers phénomènes de la division nucléaire, par caryocinèse. Mais ces phénomènes ne peuvent être suivis sur le vif; même sur des échantillons fixés et colorés ils sont encore souvent très difficiles à interpréter. Ce dont j'ai pu me convaincre, c'est qu'au moment où la portion cellulaire qui relie les deux hémisomates primitifs, est renflée en tonneau, la masse colorable qui dérive sans aucun doute du noyau (nucléole?), se trouve disposée suivant le diamètre, présentant l'aspect d'une plaque nucléaire. On peut dans certains cas distinguer nettement des stries disposées dans le sens du grand axe de l'algue; stries qui sont les fils achromatiques du fuseau.

Puis il y a attraction d'une portion de la plaque colo-

rable, vers chacun des hémisomates; il se forme ainsi deux masses allongées qui se colorent fortement par les réactifs colorants. En même temps que se fait ce transport une membrane commence à apparaître. La membrane paraît se former comme chez le *Spirogyra*, d'une façon centripète. Avant son apparition, on voit dans la partie cellulaire qui relie les deux cellules au point où elle naîtra, une grande quantité de microsomes en mouvement qui cachent le contenu. Le noyau alors se reconstitue et l'on peut en suivant la division sur le vivant, peu de temps après que la membrane a apparu, voir les deux noyaux contenant chacun leur nucléole, logés dans chacune des moitiés de l'isthme divisé. Les deux noyaux filles restent dans le voisinage de la paroi qu'ils ont servi à former. Les deux nouvelles demi-cellules continuent leur accroissement; on voit d'abord s'écouler le protoplasme charriant des granules en mouvement, puis le chromatophore pénètre à son tour dans le nouvel hémisomate.

Dans la forme à un seul pyrénoïde, et à une seule plaque de chlorophylle, telle que celle j'ai étudiée, la pénétration se fait par un glissement contre les parois de l'isthme, de sorte que l'on voit apparaître la chlorophylle sous forme de deux proéminences latérales. Vers ce moment, le nouvel hémisomate a déjà presque acquis sa forme et sa grandeur définitive, sa membrane est cependant encore plus mince que celle de la cellule primitive.

La chlorophylle en pénétrant plus avant, pousse de plus en plus le noyau vers la jeune paroi, contre laquelle il est appliqué.

Quand la plus grande portion du chromatophore est introduite dans le nouvel hémisomate, on voit pénétrer

à son tour le pyrénoïde qui provient de la division directe de celui qui existait dans la demi-cellule primitive.

Cette division, peut se faire quelquefois avant la pénétration de la chlorophylle, d'autres fois au moment même où le pyrénoïde devra être transporté. On le voit alors s'allonger, prendre une forme en biscuit, s'étrangler progressivement, jusqu'à ce qu'il se divise, emportant avec lui dans la nouvelle moitié cellulaire, une partie des grains d'amidon de la moitié la plus ancienne.

Le pyrénoïde en place, la plaque chlorophyllienne se scinde, laissant l'isthme libre, prêt à recevoir le noyau. Celui-ci qui reste encore souvent pendant assez longtemps accolé à la paroi de formation récente, voyage en glissant le long de la membrane et vient occuper sa position normale, où il reprend la forme carrée avec au centre son gros nucléole. Puis les deux *Cosmarium* se séparent et continuent individuellement leur cycle d'évolution.

Pour les *Cosmarium* à deux pyrénoïdes, les phases de la division sont les mêmes, je n'ai pu les suivre sur le vif, mais sur des échantillons fixés et colorés, j'ai pu me rendre compte des phases qui se succèdent. La forme dont j'ai pu ainsi étudier la réduplication, a beaucoup d'analogie avec le *Cosmarium Botrytis* et celle sur laquelle M. Klebahn (*) a publié son travail relatif aux zygospores. Chez cette espèce, j'ai toujours vu les pyrénoïdes divisés avant leur transport vers le nouvel hémisomate.

Ce pyrénoïde est relativement assez considérable, et entouré d'une forte couche d'amidon. Le chromatophore est dans chaque hémisomate divisé en deux parties,

(*) KLEBAHN. *Loc. cit.*, pl. XIV, fig. 28.

laissant entre elles un vide, dans lequel on remarque souvent les corpuscules mouvants que M. Fischer a fait observer.

Une question assez difficile à trancher, est celle de savoir à quel moment on doit considérer la réduplication comme terminée ?

Est-ce à l'instant où les deux cellules se séparent d'elles-mêmes, ou au moment où les noyaux ont repris leur position, au centre de la cellule? C'est à mon avis ce dernier point qui est l'indice de la fin de la division. J'ai vu en effet fréquemment deux cellules qui venaient à peine de se diviser et qui étaient encore réunies, subir chacune d'entre elles une nouvelle division. Ce fait de rester soudées, même longtemps après la division, dépend probablement de causes extérieures. Je dois faire observer ici, que la forme étudiée, était entourée d'une gaîne gélatineuse, qui réunissait les cellules en masses souvent assez compactes. C'est probablement en suite de modifications subies dans cette gaîne que ces Desmidiées se séparent plus ou moins vite après leur division.

On observe fréquemment des hémisomates de formes anomales; tous les auteurs qui se sont occupés de l'étude de ces conjuguées en ont figuré, sans toujours se rendre compte de leurs origines. M. Jacobsen (*) a fait une classification de ces modifications. Dans l'espèce qui nous occupe j'en ai observé plusieurs. C'est ainsi que la division du noyau accomplie, il ne se forme pas de membrane pour séparer les deux nouveaux hémisomates; on se trouve alors en présence d'une cellule, dont les deux extrémités sont constituées par les deux

(*) JACOBSEN. *Aperçu systématique et critique sur les Desmidiacées du Danemark*, in *Journ. bot. de la Soc. de Copenhague*. 1874-76, p. 143.

moitiés primitives, réunies par une portion arrondie ou rectangulaire, d'un diamètre plus ou moins considérable que celui des hémisomates qui lui ont donné naissance. Dans cette portion nous trouvons les chromatophores et les pyrénoïdes disposés comme dans le *Cosmarium* normal.

D'autres modifications peuvent encore se présenter; les hémisomates peuvent être disposés en croix l'un par rapport à l'autre, ou l'isthme peut être considérablement agrandi. Ces aspects anormaux se présentent souvent dans la réduplication. Dans mes cultures sur porte-objet, j'ai vu fréquemment ces dispositions en angle droit prendre naissance, sans pouvoir déterminer les causes intervenant dans cette modification.

Les figures 8, 10, 11, 13 de la pl. 2, montrent quelques-uns des nombreux cas de déformation cellulaire que l'on peut rencontrer. Dans le travail de M. Klebahn (*), nous trouvons des figures analogues.

Le premier cas cité est peut-être en rapport avec la température. En effet, ils s'observent surtout lorsque la chaleur, reçue par l'organisme, a été peu considérable. J'ai surtout remarqué ces états sur des cellules qui s'étaient divisées la nuit à des températures voisines, si pas inférieures à zéro degrés. Ce fait serait en rapport avec les expériences dont M. Hertwig (**) a publié les résultats dans le *Jenaische Zeitschrift*, et qui consistent dans la disparition par le froid de toutes les portions achromatiques de la figure caryocinétique; par conséquent, il n'y a pas formation de membrane. Je n'ai pu faire des expériences directes à ce sujet.

Ce qui est certain, c'est que le nombre de divisions

(*) KLEBAHN. *Loc. cit.*, pl. XIV, fig. 11.
(**) HERTWIG. *Loc. cit.*

que l'on peut observer est beaucoup moins considérable quand on examine ces Desmidiées à des températures basses, que lorsque les observations sont faites à un degré voisin de l'optimum. A l'époque où j'ai fait mes expériences je n'ai pu voir qu'un petit nombre de divisions se produire la nuit, la température descendait vers 0°; tandis que pendant la journée, à partir de 8 h. du matin, je pouvais observer des réduplications nombreuses. Ce nombre paraissait être en rapport avec l'accroissement de la température; mais ici non plus, pas plus que pour le *Spirogyra* et le *Tradescantia*, je n'ai pu calculer la valeur de cette augmentation. J'ai pu d'ailleurs souvent me convaincre de l'action très énergique qu'exerce la chaleur, sur la division du *Cosmarium*. En plaçant sur la platine du microscope une culture de l'algue, à une température de 24°, l'on ne voyait au commencement de l'expérience aucune prophase de division, mais au bout de peu de temps, plusieurs cellules étaient prêtes à servir à l'étude de la division. J'ai pu ainsi observer jusqu'à 5 cellules dans le même champ du microscope avec un grossissement de 300 diamètres environ.

Si, comme nous l'avons vu, la chaleur exerce une action favorable sur le phénomène de la divison cellulaire, et le froid une action opposée, il ne faut pas en déduire que ce dernier agent est contraire aux phénomènes vitaux, il les retarde simplement. On peut, en effet, congéler l'eau qui contient ces Desmidiées sans que pour cela il se produise à l'intérieur de la cellule une modification importante. Les mêmes cellules, placées ensuite à une température convenable, peuvent très bien se diviser et se développer comme à l'ordinaire. Le froid est beaucoup moins nuisible que la des-

siccation, qui détruit complètement la structure interne, aussi une immersion dans l'eau même à des températures favorables ne rend plus la vie à ces algues.

Je ne puis fournir des durées exactes pour la division totale de ce *Cosmarium*, il ne m'a pas été possible de suivre une réduplication complète. Tout ce que je puis signaler relativement à ce sujet, c'est que à une température variant de 10° à 11° C., la réduplication exige au delà de 7 heures, et que entre 15° et 16°, elle demande encore plus de 6 heures pour les mêmes phases.

Dans un travail, publié par M. Douglas Campbell, dans le Bulletin du *Torrey Botanical club* (*), sur la division cellulaire en général, l'auteur nous dit, à propos de la réduplication d'une forme de *Staurastrum* : « The whole process under proper conditions is completed in about two hours, but care must be taken that the temperature of the water in which the specimen is mounted is about the same as that from which it is taken. A Marked rise of temperature is apt to kill the cells » Il est regrettable que l'auteur ne nous donne pas de plus amples détails sur la durée et sur les conditions propres à fournir ce résultat.

Par le calcul, nous obtenons dans les expériences qui ont servi à ce travail une valeur d'environ 2 heures à 24° pour les mêmes phases qui nous ont demandé 6 et 7 heures aux températures indiquées plus haut.

M. De Bary, dans son étude sur les Conjuguées, nous donne quelques durées relatives à certaines phases de la division chez le *Cosmarium botrytis* (**) ; mais ici non

(*) Douglas H. Campbell. *Studies in cell-division* in *Bull. Torrey. bot. club*, may 1890, p. 117, pl. CII, fig. 9.
(**) De Bary. *Loc. cit.*, p. 86 et 87.

plus, nous ne trouvons d'indication quant au degré de chaleur auquel les expériences ont été faites. Ces renseignements ne peuvent donc servir à nous faire connaître les rapports qui existent entre la température, et la durée de la division cellulaire.

J'ai pu déterminer par un grand nombre d'expériences, la durée de certaines phases. Le choix de ces phases est assez difficile, car l'on ne peut se baser sur des caractères tirés du noyau, celui-ci n'étant dans la plupart de ses transformations pas visible sur le vif.

J'ai pris après bien des tâtonnements comme points de comparaison les stades suivants. Pour une première série d'expériences, le temps qui s'écoule entre les phases représentées dans la planche II par les fig. 3 et 5, pour une deuxième série, la durée des phases fig. 2 et 3, et pour une troisième série, très incomplète, la durée employée par l'algue pour passer de la forme fig. 1 et 3.

Ces trois séries ont fourni des résultats très comparables entre eux, qui se trouvent consignés dans les tableaux suivants :

TABLEAU X.

Durée de la phase, pl. II, figures 3 à 5.

NOMBRE D'EXPÉRIENCES	2	2	1	5	8	8	5	3	6	2
TEMPÉRATURE	10°-11°	15°16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	34°
	2 h.40 m. 2 h.45 m.	2 h.15 m. 2 h.15 m.	1 h.35	1 h.15 m. 1 h.25 m. 1 h.10 m. 1 h.15 m. 1 h.20 m.	50 m. 50 m. 55 m. 55 m. 55 m. 55 m. 60 m.	40 m. 40 m. 40 m. 40 m. 40 m. 45 m. 45 m.	45 m. 40 m. 45 m.	45 m. 45 m. 50 m.	1 h.5 m. 50 m. 50 m. 50 m.	1 h.30 m. 3 h.15 m.

Tableau XI.

Durée de la phase, pl. II, figures 2 à 3.

NOMBRE D'EXPÉRIENCES	3	1	3	4	5	6	1	1	1	1
TEMPÉRATURE	10°-11°	15°-16°	18°	20°	22°	24°	26°	28°	30°	34°
	1 h.45 m. 1 h.30 m. 1 h.35 m.	1 h.15 m.	40 m. 40 m. 35 m.	30 m. 25 m. 35 m. 35 m.	30 m. 20 m. 25 m. 30 m. 35 m.	30 m. 25 m. 20 m. 20 m. 25 m. 25 m.	35 m.	40 m.	45 m.	2 h.

Tableau XII.

Durée de la phase, pl. II, figures 1 à 3.

NOMBRE D'EXPÉRIENCES	1	2	1	3	1
TEMPÉRATURE	15°-16°	20°	24°	30°	34°
	3 h.	55 m. 1 h. 25 m.	45 m.	55 m.	4 h. 20 m.

Dans ces tableaux la première ligne horizontale nous indique le nombre d'expériences, la seconde les températures auxquelles les observations ont été faites, enfin les colonnes sous ces chiffres donnent les durées en heures et minutes de la phase inscrite en tête du tableau.

Un nombre bien plus considérable d'expériences a été fait, mais plusieurs n'ont fourni que des résultats partiels qui ne peuvent être utilisés.

Les tableaux X et XI qui exposent le détail des expériences peuvent être réduits, et nous obtenons en prenant la moyenne des résultats les durées suivantes :

TABLEAU XIII.

Résumé du tableau X.

TEMPÉRATURE	DURÉE DE LA PHASE, figures 3 à 5
10°-11°	2 h. 43 m.
15°-16°	2 h. 15 m.
18°	1 h. 35 m.
20°	1 h. 16 m.
22°	54 m.
24°	41 m.
26°	43 m.
28°	47 m.
30°	50 m.
34°	3 h. 15 m.

TABLEAU XIV.

Résumé du tableau XI.

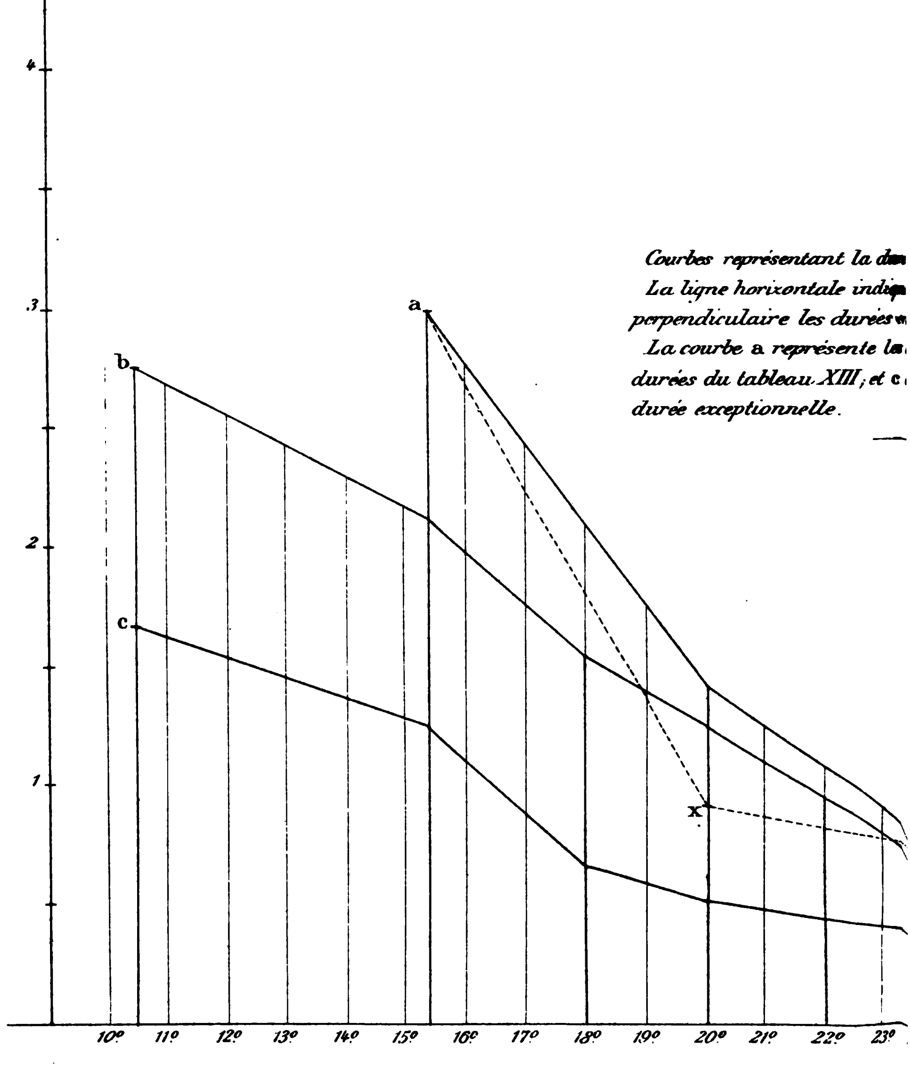
TEMPÉRATURE	DURÉE DE LA PHASE, figures 2 à 3
10°-11°	1 h. 40 m.
15°-16°	1 h. 15 m.
18°	38 m.
20°	31 m.
22°	28 m.
24°	24 m.
26°	35 m.
28°	40 m.
30°	45 m.
34°	2 h.

Comme nous le voyons par l'inspection des deux tableaux précédents, il y a un optimum très marqué vers 24°.

Dans ce cas, l'optimum paraît constant, il est le même pour les trois séries d'expériences. Le tableau graphique suivant nous montre de la façon la plus nette cet optimum; il nous montre en outre que les courbes *b* et *c*

TABLEAU

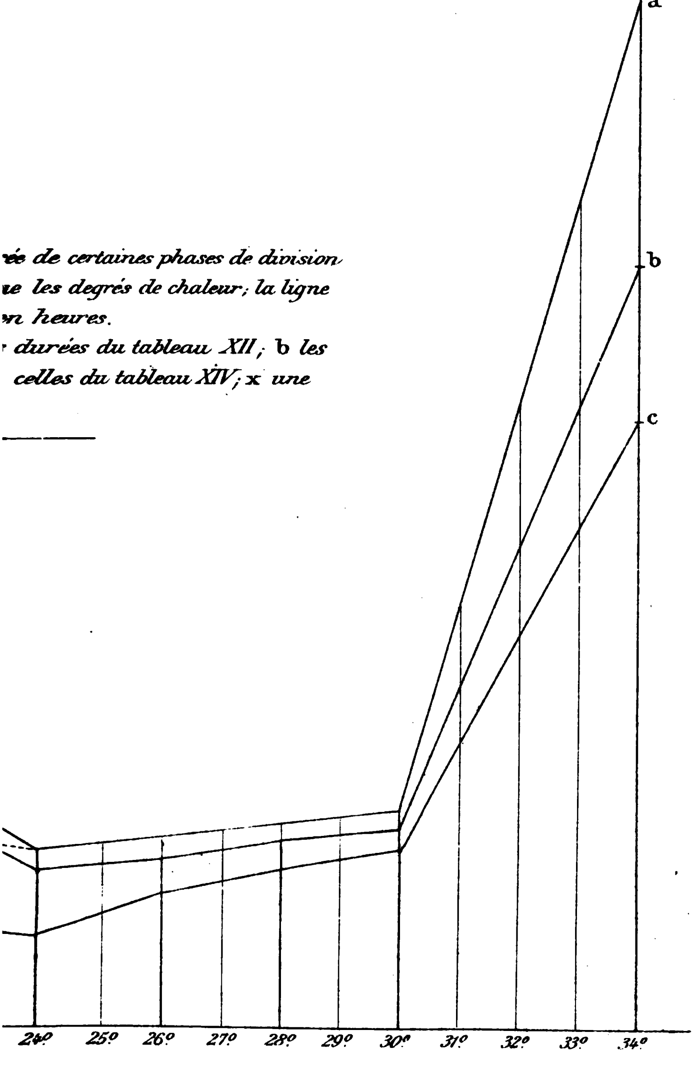
Graphique résumant la durée de quelques phases de l



E. De Wildeman, del

XV

a division cellulaire du Cosmarium.



Lith. G. Severeyns, succ. J. Goffart.

qui sont le résumé graphique des tableaux XIII et XIV, suivent les mêmes variations.

La courbe *a* qui est donnée par les résultats exposés dans le tableau XII, nous montre, quoique très incomplète, une allure semblable à celle que présentent les deux autres, si nous en exceptons une durée exceptionnelle qui s'est présentée dans une expérience à 20°. Ce résultat qui s'éloigne fortement de la marche régulière du phénomène est dû probablement à l'action de causes internes, qu'il ne m'a pas été possible de définir.

Les résultats obtenus sur le *Cosmarium*, correspondent donc complètement avec ceux que j'ai exposés dans le paragraphe relatif au *Spirogyra*. Pour cette dernière espèce, la température optimum variait entre 12° et 14°, pour le *Cosmarium* elle se trouve vers 24°. Dans les deux cas nous obtenons une augmentation de durée dans les phénomènes de division, en augmentant ou en diminuant le degré de chaleur. Il paraît donc y avoir chez cette espèce, de même que chez le *Spirogyra*, un minimum dont le degré exact n'a pu être déterminé, et un maximum auquel je ne suis pas arrivé dans mes séries d'expériences. La température de 34°, à laquelle je n'ai pu faire que quelques observations, ne doit cependant pas être très éloignée de ce maximum, car il n'est pas probable que ces algues supportent un degré de chaleur beaucoup plus élevé. D'ailleurs dans mes cultures à 34° l'on observait une désorganisation accusée chez un assez grand nombre de cellules, après un séjour de quelques heures dans l'eau à cette température.

L'optimum que nous trouvons à 24° est en rapport avec les conditions dans lesquelles ces Desmidiées vivent. La spirogyre, vit surtout dans les eaux dont la tempéra-

ture ne dépasse pas de beaucoup l'optimum de 12°-14°, et si par suite de conditions accidentelles qui se réalisent parfois dans la nature, souvent dans les laboratoires on vient à élever le degré de chaleur de l'eau dans laquelle sont cultivés les *Spirogyra*, on voit une désorganisation rapide s'en suivre.

La Desmidiée que j'ai étudiée, et la plupart d'ailleurs des formes de ce groupe, possède au contraire un mode de vie assez différent. Elle végète beaucoup mieux sous l'action directe des rayons solaires, dans des flaques d'eau peu profondes, là où l'eau peu renouvelée atteint une température beaucoup plus élevée que celle des ruisseaux et des fossés où vivent d'habitude les spirogyres.

Les résultats obtenus dans cette étude sur le *Cosmarium*, prouvent donc que dans l'action de la chaleur sur la réduplication l'on peut trouver un maximum, un optimum et un minimum.

IV

CLOSTERIUM.

Les observations que je puis présenter ici quant à l'action de la chaleur sur la division cellulaire dans ce groupe, sont extrêmement réduites. Quant à la division et à la constitution même de l'algue, il y a quelques points sur lesquels je voudrais attirer l'attention.

L'espèce principalement étudiée est une forme analogue à celle que présente le *Closterium Ehrenbergii*. J'ai également eu l'occasion de voir d'autres espèces, telles que *Closterium acerosum* et quelques formes voisines du *Closterium Leibleinii* et *Dianae*.

Les *Closterium*, présentent, comme on sait, à chaque

extrémité de la cellule, une vacuole qui contient un plus ou moins grand nombre de cristaux animés d'un fort mouvement.

Dans le cas général cette vacuole est unique à chaque extrémité. Dans certains cas j'ai pu en observer deux, disposés l'un au-dessus de l'autre, sans qu'il m'ait été possible de déterminer l'origine de cette seconde vacuole. La chlorophylle se trouve disposée en deux portions symétriques, séparées par un espace clair qui contient le noyau. Cet espace prend des aspects différents, suivant les espèces que l'on considère. Il faut naturellement prendre pour la comparaison, des échantillons qui ont atteint leur complet développement, car comme nous le verrons plus loin, pendant la division cet espace se modifie considérablement.

Le noyau des *Closterium* est du même type que celui des *Cosmarium* et des *Spirogyra*. Il est formé par une masse arrondie ou rectangulaire, contenant un gros nucléole central.

Le noyau n'emmagasine presque pas de substance colorante, le nucléole, au contraire, en est très avide et se teinte fortement, quel que soit le réactif qu'on lui présente.

Les meilleurs résultats de coloration ont été obtenus avec le carmin et la picro-nigrosine. Après avoir fixé l'algue soit par l'alcool, ou mieux par l'acide chromo-acétique, on colore par le carmin, d'où, après lavage, on passe graduellement par les alcools de plus en plus concentrés, pour arriver à l'essence de girofle ou à l'huile de cajeput et de là on porte l'algue dans le baume de Canada. J'ai pu ainsi obtenir des préparations montrant fort bien la constitution nucléaire.

Cette constitution est d'ailleurs, d'après les observations que j'ai pu faire, la même que celle des autres Desmidiées, de beaucoup deConjuguées et probablement aussi des Diatomées.

Dans les noyaux des *Mesocarpus*, *Zygnema*, *Zygogonium*, on retrouve toujours au milieu d'une masse claire un nucléole fortement coloré, très apparent (*).

Il est fort probable que l'on se trouve, en présence chez ces organismes, d'un noyau spécial, comme le veulent M. Carnoy et ses élèves.

Dans toutes les préparations durables que j'ai faites de ces *Closterium*, j'ai trouvé le noyau sous la forme décrite. Mais si l'on considère un *Closterium* vivant, il se présente souvent dans l'intérieur de la masse nucléaire des variations considérables.

C'est je crois le seul cas de variations qui ait été signalé. Le noyau de *Spirogyra* paraît présenter quelquefois des modifications analogues; M. le professeur Errera a observé des changements dans l'état du nucléole chez ces algues, mais n'a pas publié le résultat de ses observations (*).

Dans son travail sur la division du *Closterium*, M. Fischer (**) a décrit et figuré les variations du nucléole. J'ai moi-même pu voir des modifications analogues.

Dans le cas ordinaire, le nucléole est arrondi, mais dans d'autres, la masse centrale est granuleuse et de forme indéterminée. On l'observe même parfois sous l'état de petites sphérules, réunies ou séparées les unes des autres.

(*) Voyez pour le noyau : GAY. *Monographie locale des conjuguées*, p. 14, fig. pl. 1 et 2.

Bulletin des séances de la Soc. belge de Microscopie, t. VI, p. LXXI.

(**) FISCHER. *Ueber die Zelltheilung der Closterien* in *Bot. zeitung*, 1883, n° 14.

Le nombre de ces dernières peut aller en diminuant par la fusion de plusieurs d'entre elles. J'ai pu suivre plusieurs fois ces stades sur différents noyaux.

Chez le *Closterium acerosum*, le noyau se trouve disposé dans une portion centrale sphérique, et est entouré de toutes parts par la chlorophylle. Mais dans d'autres espèces, le noyau est libre, et dans ce cas, il prend la forme que nous lui avons vu revêtir chez les *Cosmarium*, c'est-à-dire qu'ils se présente sous l'aspect rectangulaire rattaché aux chromatophores par des tractus protoplasmiques. Si par une cause quelconque ces tractus se brisent, le noyau s'arrondit au centre de l'espace vide.

Dans les petites espèces du genre, et surtout chez celles fortement courbées, le noyau est beaucoup plus allongé, plus étiré. L'espace privé de chlorophylle est alors plus large, et la masse nucléaire souvent appliquée contre la membrane.

De la conjugaison, il n'y a pas grand chose à dire, ce mode de reproduction a été fréquemment étudié. On sait qu'il a lieu entre deux cellules issues d'une division récente. J'ai pu l'observer chez deux espèces, *Cl. acerosum* et *Cl. Ehrenbergii*.

Chez ce dernier, le renflement qui se forme sur le côté interne de la fronde est avant la conjugaison encapuchonné dans une zone mucilagineuse.

Sous l'action de l'iodure de potassium iodurè, cette masse prend une coloration jaune brun pâle. Dans la zygospore, les grains d'amidon au lieu d'être comme dans la cellule, répartis autour d'un pyrénoïde, sont disséminés dans toute la masse, qui prend ainsi sous l'action de l'iode une coloration bleue intense.

Je n'ai pu observer une division complète chez le

Closterium. Il ne m'a pas été possible de suivre la réduplication qu'à partir du moment où le noyau est déjà divisé, et la nouvelle cloison complètement terminée.

M. Fischer a décrit quelques phases qui précèdent cet état; il est fort probable que pour ce qui concerne le noyau et la membrane, les phénomènes se passent de la même façon que chez le *Cosmarium*. M. Hauptfleisch a également étudié la division chez les Desmidiées (*). Son travail porte surtout sur la structure de la membrane, et sur la constitution de la gaîne, que sur les phénomènes intimes de la division nucléaire et cellulaire.

Il y a cependant une phase que M. Fischer n'a pas signalée et qui paraît être préparatoire à la division, c'est le commencement de la fragmentation des chromatophores. J'ai observé souvent les masses de chlorophylle étranglées, le noyau se trouvant encore au milieu de la cellule. Le *Closterium* se trouvait ainsi sous l'aspect figuré pl. II, fig. 19.

Dans mes nombreuses cultures, je ne suis pas parvenu à suivre pendant assez longtemps une cellule pour savoir quel est le temps qui s'écoule entre le stade signalé plus haut, et une des phases de division bien connues; ni pour pouvoir déterminer si un *Closterium*, se présentant sous cet aspect, continuera à présenter les autres phénomènes de réduplication. On trouve généralement dans les algues à cet état une grande quantité de microsomes dans la zone transparente.

M. Focke (**), a dans ses études physiologiques, figuré un *Closterium*, présentant le même aspect. Une struc-

(*) HAUPTFLEISCH. *Zellmembran und Hüllgallerte der Desmidiaceen* (Greifswald, 1888).

(**) FOCKE. *Physiologischen studien*. Erstes Heft, pl. III, fig. 10.

ture analogue se remarque aussi chez le *Penium interruptum*.

Dans ses *Untersuchungen*, M. De Bary (*) nous dit à à ce sujet : « Die Theilung des Inhalts geht der Querwandbildung lange vorher. Sobald die Trennung der beiden Tochterzellen beginnt, wachsen die abgestutzten Chlorophyllkörper ihrer einander zugekehrten Hälften mit der Wand zur Form der ausgebildeten Zelle heran. Mit vollendung dieses Wachsthums ist die Vacuole in die nengebildeten Ende sichtbar. »

M. Fr. Gay, dans sa *Monographie des conjuguées*, a fait allusion à ces cas particuliers, en exposant sommairement les différents modes d'accroissements des cellules après leur division (**).

Une fois la membrane transverse achevée, le noyau voyage du centre de la figure vers les extrémités et vient se placer à l'endroit où a commencé l'étranglement du chromatophore. En même temps, se fait au point de jonction des deux nouvelles cellules, un étranglement, et une disjonction. Dans les deux bouts incolores l'on aperçoit un fourmillement très actif des microsomes, et l'on voit apparaître bientôt la vacuole terminale.

Je n'ai pu suivre cette apparition, mais il m'a paru qu'elle naissait autour de cristaux au sein du protoplasme, et non d'une fragmentation d'une vacuole préexistante. Les vacuoles primitives sont restées sans changement aux sommets des cellules.

Pendant que se passent ces différenciations, la masse

(*) De Bary. *Loc. cit.*, p. 46, pl. V, f. 1-4.

(**) Fr. Gay. *Essai d'une monographie locale des Conjuguées*, pages 23-24.

de chlorophylle continue à s'étrangler, et le noyau reprend petit à petit une position centrale, telle que celle qu'il possédait dans la cellule mère.

A une température variant entre 16° et 17° C., la division demande, à partir du moment où la cloison est formée et le noyau situé dans l'étranglement, jusqu'au stade où les deux cellules se séparent, 2 heures et 20 minutes.

Mais à cet état le noyau n'a pas repris sa position centrale. Il m'a fallu 2 heures 50 minutes à 3 heures 50 minutes d'observation, pour voir reprendre par le noyau sa situation médiane. Cette durée est très variable, elle diffère même entre les deux cellules issues d'un même *Closterium*.

M. Fischer a déterminé des durées, mais elles se rapportent à la croissance de la cellule même. Quelques données cependant sont signalées dans son travail, pour la phase qui s'écoule entre la constitution de la membrane et l'état arrondi des jeunes extrémités cellulaires. Mais ces durées ne se rattachent pas entre elles, ni à celles que j'ai eu l'occasion de déterminer. Il n'est d'ailleurs pas fait mention des températures auxquelles les observations de l'auteur ont été faites.

Quelles sont les conclusions que nous pouvons tirer de l'exposé des expériences précédentes?

Comme pour les autres phénomènes physiologiques, l'action de la chaleur est manifeste dans la division nucléaire ou cellulaire.

Nous avons vu qu'en dessous d'une certaine tempéra-

ture, le phénomène ne s'accomplit pas, du moins dans sa totalité ; nous avons trouvé un point pour lequel le phénomène s'accomplit le mieux et, enfin, un point au-dessus duquel la chaleur empêche la marche régulière de la caryocinèse ou de la division cellulaire.

Pour le *Spirogyra*, étudié dans les conditions signalées plus haut, l'optimum se trouve vers 12°; pour le *Tradescantia virginica* (forme décrite plus haut), il se trouve entre 45°-46° C, très proche du maximum et pour le *Cosmarium* vers 24°.

En outre, on voit que ces points varient d'une plante à l'autre, les exemples qui ont servi aux expériences nous le prouvent. Il est vrai que, de prime abord, ce fait était à prévoir, les conditions de milieu dans lesquelles ces plantes végètent étant totalement différentes.

Ces premières recherches sont nécessairement encore incomplètes, mais la difficulté de l'expérimentation est également fort grande. Chez le *Spirogyra* et le *Cosmarium*, le temps demandé par une division est très long et aux températures basses il est presque impossible de suivre une division complète; chez le *Tradescantia*, la division n'a pu être suivie que pendant les mois d'été.

La durée de la division nucléaire et cellulaire est donc en dépendance directe des facteurs suivants : 1° espèce, 2° température.

La lumière n'a aucune action directe sur le phénomène.

Je ne puis terminer cet exposé sans remercier M. le professeur L. Errera. C'est dans son laboratoire que les

expériences qui ont servi de base à la rédaction de ce travail ont été entreprises, et, grâce aux conseils qu'il n'a cessé de me donner, que j'ai pu commencer l'étude de l'action de la chaleur sur la division du noyau.

Novembre 1890.

Laboratoire d'anatomie et de physiologie végétale
de l'Université libre de Bruxelles.

EXPLICATION DES PLANCHES

Planche I.

Fig. 1-12. — Phases différentes d'un même noyau de *Spirogyra*, prises sur le vif.

Fig. 13-19. — Phases différentes d'un même noyau de *Tradescantia*, prises sur le vif.

Obs. — La figure 13 représente la phase à partir de laquelle je compte le commencement de la division.

Fig. 20. — Noyau de *Tradescantia* au repos, dans une cellule adulte.

Planche II.

Fig. 1-18. — Cosmarium.

Fig. 1-7. — Phases successives de la division du *Cosmarium*, observées sur le vivant.

Fig. 8-10-13. — Formes anomales dues à la réduplication.

Fig. 9. — *Cosmariums* encore réunis, entrant en division.

Fig. 14. — Noyau de l'algue encore au repos, dans l'isthme déjà agrandi.

Fig. 15. — Masse nucléaire tranformée, montrant des masses de substance colorable à l'équateur.

Fig. 16. — *Cosmarium*, coloré par le carmin après fixation par le liquide de Kleinenberg; au centre le noyau avec son nucléole.

Fig. 17. — *Hémisomate*, contenant encore la chlorophylle, vu par la partie supérieure.

Fig. 18. — *Cosmarium*, vu de profil.

Fig. 19-39. — Closterium.

Fig. 19. — *Closterium*, présentant les deux chromotaphores échancrés.

Fig. 20-21. — Stades de la conjugaison.

Fig. 22. — Zygospore, avec zone mucilagineuse.

Fig. 23-26. — Phases successives de la réduplication.

Fig. 23. — 8 h. 30 m. entre 16°-17°; *n*, *n*, sont les noyaux.

Fig. 24. — 9 h. 20 m. — —

Fig. 26. — 10 h. 10 m. — —

Fig. 27. — Noyau voyageant vers le centre de la cellule.

Fig. 28. — Le même arrivé au milieu du *Closterium*, les deux masses de chlorophylle sont complètement séparées.

Fig. 29-31. — Formes présentées par le noyau dans différentes espèces de *Closterium*.

Fig. 32. — Extrémité de la cellule du *Closterium acerosum* présentant deux vacuoles superposées.

Fig. 33-34. — Noyaux à nucléole, granuleux et irrégulier.

Fig. 35-38. — Transformations successives subies par le nucléole, fig. 35, à 10 h.; fig. 36, à 11 h.; fig. 37, à 11 h. 30 m.; fig. 38, à 11 h. 45 m.

Fig. 39. — Noyau à nucléole formé de trois masses.

ERRATA

Page 11, dernière ligne, au lieu de « optimum » lisez « maximum ».
Page 23, au lieu de « tableau I » lisez « tableau II ».
Page 55, à « La lumière n'a aucune action directe sur le phénomène, » ajoutez « dans les cas étudiés ».

Observation. — Graphique tableau IX. — Quelques erreurs sont passées inaperçues dans les lignes *a* et *b*, mais ces erreurs ne modifient pas fortement l'allure de la courbe.

SUR LES LIMITES

DE LA

PHYSIQUE ET DE LA CHIMIE

PAR

Le docteur J. E. ENKLAAR

(ALBUM DER NATUUR, 1890)

TRADUCTION

Par M. HEGENSCHEIDT, membre de la Société.

SUR LES LIMITES

DE LA

PHYSIQUE ET DE LA CHIMIE

Dans les revues scientifiques modernes, le lecteur rencontre souvent des communications sur la pression osmotique, l'association en ions, les solutions isotoniques, etc. Il doit avoir acquis ainsi une idée de l'importance des progrès réalisés pendant ces dernières années dans le domaine de la physique et de la chimie. Il est cependant permis de douter que ces communications isolées, aient pu lui fournir des notions complètes sur ces vues nouvelles, surtout s'il ne se livre pas spécialement aux études de physique.

C'est pourquoi nous croyons qu'un essai, qui aurait pour but d'exposer méthodiquement les découvertes faites dans le domaine de ce qu'on a appelé la chimie physique, pourrait avoir une certaine utilité. V.'T Hoff, V.-D. Waals, De Vries et Engelmann dans les Pays-Bas, en Allemagne surtout Ostwald, Arrhenius, Plancke et Pfeffer se sont distingués dans ces recherches, les uns comme physiciens, les autres comme naturalistes.

L'idée de force, *telle qu'elle est acceptée aujourd'hui et qui joue une rôle si important dans l'explication des phénomènes naturels*, a été introduite dans la science par Newton. Elle ne se trouvait pas dans les données

que l'homme pouvait acquérir par une simple sensation. C'est dans l'esprit qu'elle s'est formée par analogie de l'influence de ses actes volontaires sur le milieu. Les objets de la nature inanimée furent comparés aux êtres vivants qui poussaient et tiraient. L'abstraction fut la mère de l'idée de force. Mais on se représentait celle-ci comme quelque chose de réel. On appelait force une cause immatérielle, qui mettait les corps en mouvement ou qui changeait la direction et l'ampleur de ce mouvement.

Newton précisa cette notion et la mesura par le produit de la masse d'un corps par l'accélération qu'il subit.

Dans notre siècle, Robert Mayer et Helmholz adoptèrent une autre mesure, pour déterminer les effets produits par des forces. L'idée même de force fut changée par cette nouvelle mesure; et c'est pourquoi il lui fut donné un autre nom : on l'appela *énergie*, c'est-à-dire *puissance de travail*. Si la conception de Newton avait rendu de grands services à la science, il en fut de même pour celle de Mayer et Helmholz. Les travaux de ce dernier marquent la date d'une nouvelle explication des phénomènes physiques.

La notion du travail était devenue très commune dans la vie de tous les jours. On y pensait quand des hommes et des animaux déplaçaient des charges ou renversaient des obstacles. Les occupations les plus diverses furent rapprochées sous la dénomination commune de travail. Comme mesure de ce travail on se contentait de la durée du temps pendant lequel il se faisait. On n'éprouvait pas le besoin d'une détermination plus précise.

En physique la notion de travail se compose des idées de *force* et de *chemin*. Par ce dernier terme on entend le chemin parcouru par le point d'application de la force dans la direction de cette force. Le produit de ce chemin par la force est la mesure du travail accompli. Si, par exemple, nous déplaçons une pierre dans la direction verticale montante, il y a production de travail. La quantité de ce dernier dépend de la longueur du chemin parcouru et du poids de la pierre. Le poids représente la force qui élève la pierre. Un corps pouvant produire du travail, possède de l'énergie. La somme de celle-ci dépend de la quantité de travail qui peut être produit. Mayer a eu le mérite immortel d'avoir mis en lumière que la somme d'énergie et de travail produit est constante dans la nature; autrement dit qu'aucune énergie ne peut être détruite..

La notion d'énergie, abstraction faite de ses effets, est tout aussi peu limitée que celle de force. L'énergie se présente dans la nature sous les formes les plus diverses. Un ressort tendu, un poids levé représentent de l'énergie. Ils peuvent vaincre une certaine quantité de résistance, par exemple, celle qui s'oppose au mouvement d'un système de roues dentées d'une horloge. En fin de compte c'est notre propre force musculaire, qui fait marcher la montre et l'horloge. Car nous avons remonté la montre et nous avons élevé le poids de l'horloge.

Une énergie, semblable à celle du ressort et de l'horloge, s'appelle énergie de position ou énergie potentielle. En général tout corps se trouvant près d'un autre qui l'attire, en est doué. Un corps en mouvement peut accomplir du travail. On peut se le représenter, soulevant un autre corps au moyen d'une poulie. Cette forme de

l'énergie est l'énergie de mouvement ou cynétique. Si on applique ce qui précède aux petites masses, aux molécules, qui, d'après l'opinion admise, constitueraient les corps, la chaleur, l'électricité, les corps sonores vibrants et les ondulations de l'éther, qui donnent à l'œil l'impression de la lumière ne sont autre chose que des formes de l'énergie qui peuvent être exprimées par une mesure commune. En d'autres termes, un corps est capable de produire du travail, s'il se trouve dans un de ces états qu'on désigne par les mots chaleur, électricité, son et lumière.

De la sorte on acquit dans l'étude de l'énergie un point de départ unique, ce qui fut d'une grande signification pour l'explication des phénomènes physiques. Jusqu'alors on avait accepté l'existence d'une force particulière pour chaque groupe de phénomènes particuliers. On parlait de la pesanteur, des attractions et des répulsions électriques ou magnétiques. Chacune de ces forces avait son cachet particulier et un caractère propre, l'invariabilité. On n'en était plus, il est vrai, à l'idée d'Aristote, qui, pour chaque phénomène particulier, admettait un moteur particulier (*causa movens*); sous ce rapport cependant la différence entre le philosophe de Stagire et les physiciens du commencement de ce siècle n'était pas si grande qu'elle pouvait le paraître. Il était naturel qu'une telle conception ne favorisât pas la recherche d'un lien entre les différents groupes de phénomènes. La grande signification de la notion d'énergie, c'est d'avoir aboli ce caractère spécifique d'invariabilité. L'énergie était la cause commune des actions dans la nature; elle se manifestait tantôt comme chaleur, tantôt comme électricité ou bien encore sous toute autre forme.

Tous les phénomènes physiques, envisagés à ce point de vue, n'étaient que la manifestation d'une force changeant continuellement de forme, mais invariable en quantité. Partout les limites tombaient. Tous les phénomènes, quel que fût leur caractère, entrèrent en relation les uns avec les autres. L'énergie cynétique de la balle lancée était l'énergie chimique transformée de la poudre, qui prenait une troisième forme, celle de la chaleur, quand la balle touchait le but.

C'est une science d'ancienne date qui nous a appris que les corps peuvent exister sous trois états, l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux. Une observation superficielle suffisait pour faire connaître cette différence, quoiqu'en même temps que cette notion on n'eût pas acquis celle que tout corps pouvait passer d'un état à l'autre. Les données de l'observation mènent à des définitions simples. Les corps solides ont une forme propre, qui chez les liquides et les gaz est déterminée par le vase qui les renferme. Les solides et les liquides ont un volume constant ; les gaz tendent à occuper le plus grand espace possible. Le volume des premiers ne peut être modifié que par l'action d'une force externe. La notion des forces, dont l'action est déterminée par la distance des masses des corps, introduite par Newton pour l'explication des mouvements des corps célestes, fut appliquée aux molécules. On supposait entre ces petites masses des forces attractives et répulsives qui sont en équilibre dans les solides et les liquides. Dans les gaz, cet équilibre était rompu ; là les forces répulsives étaient supérieures. De là la tendance des gaz à augmenter leur volume ; de là la pression qu'ils exercent sur les parois des vases qui s'opposent à leur extension.

Cette théorie fut longtemps suffisante pour se rendre compte de la similitude et de la différence d'état des corps. Développée par les mathématiques, elle devint un chapitre important de la physique, celui des forces moléculaires. Elle expliquait toute une série de phénomènes, parmi lesquels la cohésion, l'adhésion et la capillarité. L'action réciproque de ces petites masses placées à de minimes distances, était cependant beaucoup plus complexe que celle qui s'exerçait entre les grands corps célestes placés à de grandes distances les uns des autres. La théorie des forces moléculaires n'était donc pas tout simplement l'attraction universelle de Newton, appliquée aux grandeurs de petites dimensions; celle-ci fut le modèle d'après lequel on forma la première; on emprunta à la conception de Newton juste ce qu'on pouvait appliquer à ce nouveau domaine et on compléta par de nouvelles hypothèses.

Le premier résultat de la notion d'énergie fut une théorie mécanique de la chaleur et, sous l'influence de celle-ci, les idées sur la nature de l'état variable des corps se modifièrent. On n'admit plus une force répulsive. On lui substitua l'idée que les molécules étaient animées d'un mouvement vif, qu'elles possédaient donc de l'énergie cynétique. Si les molécules ne se tiennent mutuellement par aucun lien, elles s'éloignent avec la rapidité acquise, dans la direction du mouvement et à une distance infinie. Un corps, dans le sens d'un tout continu, n'existe plus alors. Il fallait une paroi pour limiter de tous côtés l'espace dans lequel se trouvent les molécules. Celles-ci rebondissent continuellement contre la paroi. Elles s'entrechoquent constamment, de sorte que le mouvement change continuellement de direction et que beau-

coup de molécules subissent des mouvements gyratoires.

Cet état est le mieux réalisé dans les gaz. Dans ceux-ci les forces attractives sont excessivement faibles comparées à la tendance qui porte les molécules à s'éloigner l'une de l'autre. Dans la plupart des cas on peut en faire abstraction. Ce qu'on appelle la pression du gaz est la résultante des chocs de toutes les molécules contre la paroi du vase. Dans les liquides l'attraction joue un rôle plus important. Continuellement elle arrête les molécules et les oblige à faire le même chemin dans une direction opposée. Le résultat en est un mouvement de va et vient, un mouvement vibratoire. Cependant pour changer la direction du mouvement d'une molécule, il faut la coopération d'un grand nombre d'autres; l'attraction des molécules immédiatement voisines seules serait trop faible. De cette façon une molécule vibrante peut se déplacer à travers toute la masse du liquide, sans cependant quitter celui-ci. Ce déplacement n'exige pas de travail. Si l'observation était possible, un liquide se montrerait à nos yeux comme un tout dans les limites duquel des molécules se meuvent dans tous les sens. Un liquide possède donc un volume propre, c'est-à-dire un volume, déterminé par des forces internes.

Dans les corps solides la constitution est, à peu de chose près, la même. La différenee provient d'une plus forte action de l'attraction moléculaire. L'entourage immédiat d'une molécule est en état de maintenir son mouvement dans d'étroites limites. Chacune des molécules vibrantes est ainsi fixée à sa place. De là une forme propre et un volume invariable. Ici nous ne trouvons pas des molécules voyageant dans tous les sens ou animées de mouvements vibratoires.

Cette nouvelle manière de se représenter un corps comme un ensemble de petites masses, qui se meuvent sous l'action changeante de forces dirigées en sens contraire, nous conduit à supposer que l'état gazeux est le plus simple qu'un corps puisse prendre.

Si l'on se représente les molécules comme de petites balles, on peut, abstraction faite de la faible attraction moléculaire, supposer les gaz formés d'une collection de balles, qui sont lancées avec une grande rapidité dans une direction rectiligne, se heurtant continuellement les unes contre les autres et contre les parois du vase. Lorsque nous respirons les senteurs d'une fleur ou l'odeur de l'ammoniaque, la muqueuse de notre nez est soumise à un bombardement de molécules gazeuses. La rapidité du mouvement des molécules est étonnante. Par le calcul on sait que les molécules d'oxygène à une température de 0° et à la pression atmosphérique ordinaire se meuvent avec une rapidité moyenne d'un demi-kilomètre par seconde. Cependant un gaz ne diffuse que relativement lentement dans l'air. Ce fait n'a rien d'étrange, attendu que sur sa route la molécule du gaz est continuellement contrariée dans son mouvement par les chocs contre les molécules de l'air, de sorte qu'elle ne décrit pas une ligne droite, mais une suite de très petites lignes droites dirigées en divers sens.

La grande rapidité du mouvement explique la grande énergie que possède un gaz sous pression, quoique ses molécules mêmes soient excessivement petites.

Le diamètre d'une molécule varie entre un dix-millionième et un cent-millionième de centimètre.

Cette nouvelle interprétation était un grand pas dans la nouvelle voie qu'a prise la physique. On ramenait les

phénomènes physiques à des formes de mouvement. Un de ses plus grands avantages fut de rendre possible l'application des lois du choc des corps aux gaz. On acquit ainsi l'espoir de pouvoir faire dériver de la conception cynétique, par le raisonnement seul et à l'aide des mathématiques, les lois que les recherches expérimentales avaient depuis longtemps fait connaître pour les gaz. Les résultats n'ont pas déçu cet espoir. Quoique ce ne soit pas ici le lieu de donner un exemple complet d'une telle déduction, nous devons cependant attirer sur elle l'attention pour un moment.

Une loi importante est celle qui a été dénommée d'après Boyle (*). C'est un fait connu que la tension d'un gaz augmente, lorsqu'on en diminue le volume par compression. Chacun sait jusqu'à quel point on peut ainsi augmenter la tension d'un gaz. Le rapport exact entre le volume et la pression est exprimé dans la loi de Boyle. *Pour une même température, les pressions exercées par une masse gazeuse sont en raison inverse des volumes occupés.* On peut encore dire : *pour une même température le produit du volume et de la pression d'une même quantité de gaz est constant.* Déjà un examen superficiel nous montre que ce résultat est renfermé dans la théorie cynétique. Si par la pression on diminue le volume d'une certaine quantité de gaz, le nombre de molécules augmente dans l'unité de volume, tandis que leur rapidité ne change pas. Pas conséquent le nombre de chocs, que subit l'unité de surface de la paroi dans l'unité de temps, donc la tension du gaz, augmente.

Si au moyen des lois du choc on cherche à donner

(*) Plus connue ici sous le nom de loi de Mariotte.

une forme mathématique au produit de la tension par le volume d'une quantité donnée de gaz, exprimée en masses et en mouvements de molécules, on obtient une expression dans laquelle n'entrent que des grandeurs, qui sont constantes pour une quantité donnée de gaz et pour une même température. On déduit donc de la théorie cynétique que le produit du volume par la tension d'une quantité donnée de gaz est un nombre constant pour une même température. C'est-à-dire que, au point de vue récemment acquis, on a trouvé la loi de Boyle par le raisonnement.

Le volume d'un corps varie aussi avec la température. Chacun sait qu'il y a alors dilatation, du moins si les circonstances le permettent. Si aucune résistance ne s'oppose à la dilatation, la pression reste la même, tandis que le volume augmente avec chaque degré de 1/273 du volume occupé à 0°. Si la paroi s'oppose à la dilatation, la pression augmente avec chaque degré de 1/273 de la pression qu'exerçait le gaz à 0°. C'est ce que nous apprennent les lois de Gay-Lussac. Si on compte la température, non pas à partir d'un zéro arbitraire, le point de fusion de la glace, mais d'un point qui est à 273° plus bas, on voit que les volumes qu'acquiert une masse gazeuse par dilatation, sont en raison directe de la température. Ce nouveau zéro est le zéro absolu, et le degré de chaleur exprimé d'après cette échelle donne la température absolue (*).

(*) Comme nous l'avons vu, le volume d'un gaz diminue avec chaque degré d'abaissement de la température de 1/273 du volume à 0°. Il s'en suivrait qu'à 273° le volume serait égal à 0°. Ceci est évidemment une absurdité. Voici en quoi consiste la faute de raisonnement; on se sert d'une constante — le cœfficient de dilatation du gaz — en dehors des limites pour lesquelles elle a été reconnue vraie. On suppose que le gaz suit les lois d'un gaz parfait jusqu'à 273°. Cela n'est pas le cas. Ordinai-

Nous pouvons donc résumer les lois de Boyle et de Gay-Lussac de la façon suivante : *Pour une quantité déterminée de gaz le produit du volume par la pression divisé par la température absolue est constant* (*).

D'après la théorie cynétique, l'élévation de la température d'un gaz n'est autre chose qu'une accélération des mouvements des molécules. Le spectacle serait intéressant, si on pouvait jeter un regard sur les molécules d'un gaz au moment où il leur arrive de la chaleur. Il semblerait qu'un ouragan vient de passer dans le monde moléculaire. Les mouvements vibratoires et gyratoires seraient immédiatement accélérés. Si l'espace, occupé par le gaz, reste limité, les chocs contre la paroi augmenteront en nombre et en violence. Une augmentation de la tension s'en suivra naturellement causée par l'élévation de la température.

En effet, la loi de la dilatation des gaz par la chaleur peut se déterminer dans sa forme générale en traitant mathématiquement les données renfermées dans l'interprétation mécanique.

Les résultats, signalés dans ce qui précède, doivent éveiller l'idée que la nouvelle théorie donne une expression exacte de la structure des gaz. Mais toute loi naturelle, trouvée par la réflexion, n'approche qu'approxi-

rement, déjà bien avant, a lieu la liquéfaction. Supposons cependant que le gaz reste dans le même état. A un degré de température absolue le volume, qui est 1 au point de fusion de la glace, deviendrait 1/273 à deux degrés 2/273, à *n* degrés *n*/273. Les volumes à 1, 2, *n* degrés seraient alors entre eux comme 1 : 2 : *n*, c'est-à-dire comme les températures absolues.

(*) Soit P la pression, V le volume, T la température absolue d'une quantité déterminée de gaz, la loi peut se formuler ainsi : $\frac{P \times V}{T}$ = constante.

mativement de la réalité, qu'elle n'interprète jamais complètement. C'est encore le cas ici. La loi de Boyle, pour ne parler que de celle-là, est vraie pour un gaz idéal, qui n'existe pas dans la nature. Depuis longtemps on savait qu'elle souffrait des exceptions. Quelques gaz, l'anhydride carbonique, par exemple, qui, à la température ordinaire, ne sont pas éloignés du point où ils se liquéfient, ont une compressibilité un peu plus grande que ne l'indique la loi.

Regnault trouva que l'hydrogène, au contraire, donne une déviation dans le sens opposé. A cause de cela il l'appela un gaz plus que parfait. Natterer et Amagat découvrirent plus tard, qu'à de très fortes pressions, tous les gaz se comportent comme l'hydrogène, aussi longtemps qu'ils sont très éloignés de leur point de liquéfaction. Dans ces conditions, tous les gaz, subissent une diminution de volume qui est plus petite qu'elle ne le serait, si la loi était parfaite.

La déduction mathématique de la loi de Boyle, d'après la théorie cynétique des gaz, nous la donne pure. Rien dans le résultat ne nous indique qu'elle n'est qu'une approximation. Il y a donc des facteurs dont on n'a pas tenu compte et qui jouent un certain rôle dans les phénomènes lors de la compression des gaz. On s'était basé sur l'hypothèse que les dimensions des molécules étaient des quantités si petites qu'on pouvait les considérer comme des points mathématiques. On ne tint donc pas compte de ces dimensions. Il arriva que le résultat ne coïncidait pas avec la réalité. Les dimensions des molécules sont assez notables pour exercer une influence, en tous cas sous de hautes pressions. Lorsqu'on tient compte de ces dimensions, le chemin à parcourir par les molécules

pour atteindre la paroi devient naturellement plus petit, le nombre des chocs, que reçoit la paroi dans l'unité de temps, plus grand. C'est là qu'il faut chercher la cause des déviations que montrent des gaz comme l'hydrogène et qui ont été trouvées générales à de hautes pressions par Natterer et Amagat. Il faut encore fixer l'attention sur un autre facteur. L'attraction réciproque des molécules gazeuses est bien minime, mais n'est cependant pas sans influence sur le volume. Elle agit dans le même sens qu'une pression du dehors, c'est-à-dire qu'elle fait diminuer le volume. Elle aura donc pour conséquence que le volume observé est plus petit que celui calculé d'après la loi de Boyle. C'est sur ce phénomène que nous attirions l'attention en parlant de l'anhydride carbonique; il se révèle surtout sous des pressions moyennes. V. D. Waals a réussi à exprimer exactement ce facteur par voie mathématique. Il a donné à la loi de Boyle une nouvelle forme. Sous sa forme, la loi de V. D. Waals rend complètement compte du changement de volume, non de celui que subit un gaz idéal, mais de celui observé sur les gaz réels, sous les différentes pressions.

Depuis longtemps l'attention avait été attirée sur la grande uniformité des propriétés des gaz très éloignés de leur point de liquéfaction. Pour tous ces gaz le coefficient de dilatation est le même. Il est égal à 1/273. A volumes égaux, il leur faut une même quantité de chaleur pour les faire monter de 0° à 1°. Déjà en 1810, alors que la théorie des gaz était encore très imparfaite, un Italien, Avogrado, frappé de cette uniformité, formula l'hypothèse que sous un même volume des gaz différents, à température et à pression égales, contien-

nent un même nombre de molécules (*). Aujourd'hui cette hypothèse est devenue une loi physique.

En se basant sur la théorie cynétique on a pu en établir l'exactitude avec une précision mathématique. Elle est devenue la base de la chimie, car elle a permis de déterminer le poids relatif des molécules. D'après la loi d'Avogrado, le rapport en poids de mêmes volumes de différents gaz, à température et à pression égales, est en même temps le rapport entre le poids de leurs molécules. En désignant par 2 le poids d'une molécule d'hydrogène, les poids des molécules de l'oxygène et de l'azote seront respectivement 32 et 28.

Par gramme-molécule, en entend la quantité d'un corps en grammes, exprimée par le nombre qui représente son poids moléculaire.

Ainsi 2 gr. d'hydrogène, 32 gr. d'oxygène et 28 gr. d'azote sont respectivement des grammes-molécules, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote. Deux grammes d'hydrogène occupent à 0° et à 760 mm. de pression un volume de 2 : 0,0000895=22346 cm³. ou en chiffres ronds 22350 cm³. Suivant la loi d'Avogrado, tous les grammes-molécules sous forme gazeuse, à la même température et sous la même pression, doivent occuper un volume de 22350 cm³.

Nous pouvons maintenant donner à ces lois des gaz une forme encore plus simple et plus étendue. Si nous comparons toutes les quantités de gaz appelées grammes-molécules, nous constatons que le produit du volume et

(*) Avogrado parlait de molécules intégrantes et de molécules élémentaires, ce qui correspond à nos notions de molécules et d'atomes. *Journal de Physique*, LXXIII, p. 58.

de la pression divisé par la température absolue est égal à 84570 (*).

Donc si nous voulons savoir si un gaz, ou un corps qu'on peut y assimiler, suit les lois de Boyle et de Gay-Lussac, nous n'avons qu'à constater si le produit de ces quantités divisé par la température absolue donne 84570.

C'est ainsi que la théorie cynétique des gaz devint un modèle pour l'étude complète d'un objet de la physique. Dans les gaz se présentait le cas le plus simple. C'est à cause de cela qu'on put exprimer la réalité par des formules mathématiques. L'étude des liquides était plus complexe. Ici les phénomènes ne sont pas formulés par des lois aussi simples.

Dans ces derniers temps cependant on a pu appliquer la théorie cynétique des gaz à des solutions étendues de corps solides dans des liquides. C'est là une acquisition scientifique de la plus haute importance, qui est due à un savant néerlandais Van 'T Hoff.

L'expérience avait déjà prouvé qu'il y avait une relation entre les propriétés physiques d'une solution et le nombre de molécules du corps dissous dans une quantité déterminée du dissolvant.

Un savant français Raoult (**) rechercha l'influence de la concentration d'une solution sur l'abaissement du

(*) On sait qu'à une colonne mercurielle de 760 mm., correspond un poids de 1033 gr. par centimètre carré. Cette pression équivaut à la pression ci-dessus de 760 mm.

A 0° et à la pression atmosphérique ordinaire le volume d'un gramme-molécule est 22350 cm_3, la température absolue 273 et la pression par cm_2 1033 gr. L'expression mathématique devient donc $\frac{1033 \times 22350}{273} = 84570$. A volumes, à température et à pression égales, elle est la même pour tous les gaz.

(**) *Comptes rendus de l'Acad.*, 87-1878, p. 167 et plus tard 1884-1888.

point de congélation de cette solution. On savait que ce point était d'autant plus bas que la solution était plus concentrée. Raoult trouva que *des solutions de corps solides différents se congèlent à la même température, si les quantités des corps dissous sont entre elles comme leurs poids moléculaires. Il établit encore que le point de congélation baissait d'une quantité déterminée pour chaque gramme-molécule du corps solide ajouté à la solution.* Cet abaissement dépend de la nature du dissolvant, Raoult le détermina expérimentalement pour chaque dissolvant. De cette façon on peut déterminer le point de congélation d'un liquide, si dans 100 parties de ce liquide on a dissous une partie d'un corps déterminé. *Le produit de cet abaissement par le poids moléculaire du corps dissous a été appelé, par Raoult, l'abaissement moléculaire de congélation.* Presque tous les corps organiques dissous dans l'acide acétique ont donné comme abaissement moléculaire de congélation environ 39 ou 19. Lorsque le dissolvant était de l'eau ces nombres étaient environ 39 ou 19, dans la nitrobenzine 71. Cependant beaucoup de sels dissous dans l'eau présentaient de singulières variations; elles ont été expliquées plus tard par l'hypothèse d'Arrhénius.

Nous ne pouvons entrer à ce sujet dans de longs détails. Nous avons tenu à signaler cette question parce qu'elle est en relation avec notre sujet.

Une remarque encore, la loi de Raoult permit de déterminer le poids moléculaire d'un corps. Supposons qu'on veuille connaître le poids moléculaire de l'eau : on dissout de l'eau ou de la glace, dans de l'acide acétique. Par l'expérience on sait que 0,5 gramme d'eau dissous dans 100 grammes d'acide acétique font baisser le point

de congélation de celui-ci de 1,05°. Pour 1 gramme d'eau dans 100 grammes d'acide acétique, l'abaissement sera 1,05 : 05 = 2,10. L'abaissement moléculaire de congélation de l'acide acétique comme dissolvant est de 39. Ce nombre est donc le produit du poids moléculaire de l'eau et du nombre 2,10. Le poids d'une molécule d'eau sera donc 39 : 210 = 18,5.

Déterminé par la loi d'Avogrado, le poids moléculaire de l'eau est 18.

Raoult a découvert une loi analogue pour les tensions des vapeurs saturées (*). On sait que sous l'influence de la chaleur les liquides se transforment en vapeurs. Si un liquide se trouve dans un espace fermé et qu'il s'y évapore seulement en partie, il arrive un moment où il est dans un état d'équilibre, qui ne dépend que de la température. La pression exercée par le gaz dans cet état est la pression maximum. Déjà Babo et Wüllner avaient montré, il y a trente ans, que pour une température déterminée, la pression maximum d'un liquide diminue si on y dissout un corps. Ils trouvèrent également que la diminution de la pression de la vapeur était en raison directe de la quantité du corps dissous dans le liquide. *Le quotient de la tension du dissolvant pur, divisée par la différence entre la tension d'une solution et la tension du dissolvant, a été appelé par eux la diminution relative de la tension de la vapeur.* Cette diminution relative est la même à chaque température pour le même dissolvant.

Raoult chercha les rapports que pouvaient avoir ces phénomènes avec le poids moléculaire du corps dissous. Il trouva que des solutions ayant un dissolvant iden-

(*) *Ann. de chim. et phys.*, (5) XXVIII, (6) II, IV, VIII.

tique, avaient la même tension de vapeur à température égale, si les quantités des corps dissous étaient entre elles comme leurs poids moléculaires. Il appela *abaissement moléculaire de tension de vapeur des solutions, le produit de l'abaissement relatif de la tension de vapeur d'une solution d'un p.* 100 *par le poids moléculaire du corps dissous. L'abaissement moléculaire de la tension de vapeur, reste la même pour un même dissolvant dans lequel on a dissous différents corps.*

Plus tard il donna à cette loi une forme encore plus remarquable. *L'abaissement relatif de la tension de vapeur de chaque solution est égal au rapport du nombre de molécules du corps dissous au nombre total de molécules, que contient le liquide* (*).

Pour comprendre les développements ultérieurs nous devons fixer notre attention sur les phénomènes connus sous le nom d'osmose. Figurons-nous un flacon dont le fond serait formé d'une membrane, un morceau de vessie, par exemple. Remplissons ce flacon d'une solution de sulfate de cuivre. Suspendons enfin ce flacon dans un verre rempli d'eau. Bientôt on verra bleuir l'eau du verre, ce qui prouve que du sulfate de cuivre a traversé la membrane. Il est aisé de constater que la quantité d'eau du flacon augmente. En effet deux courants se sont formés, l'un de molécules de sulfate de cuivre qui se dirige de la solution vers l'eau à travers la membrane et l'autre de molécules d'eau qui va du verre au flacon. Ces courants continuent jusqu'à ce que le flacon con-

(*) L'Académie française vient de décerner le prix L. Lacaze de 10,000 francs à Raoult, « comme un témoignage de sa grande estime pour ses remarquables travaux de chimie. L'une des lois générales, qu'il a formulée est devenue classique sous le nom de loi de congélation de Raoult. »

tienne une solution de sulfate de cuivre de la même concentration que celle qui se forme en dehors. En ce moment il y a équilibre.

Ce phénomène est dû à l'attraction qui existe entre les molécules du sel et celles de l'eau.

Suivant les idées anciennes, la membrane soutirerait d'un côté la solution, de l'autre côté de l'eau. A l'intérieur de la membrane aurait alors lieu un échange entre les molécules. Les molécules de sulfate de cuivre acquièrent du mouvement dans la direction de l'eau du verre, les molécules de l'eau se meuvent en sens opposé. De cette façon les molécules salines sont poussées vers l'eau et les molécules de l'eau vers la solution saline.

La membrane absorbe une nouvelle quantité de molécules de sel et d'eau et le même jeu recommence. *Le courant dirigé de l'extérieur vers l'intérieur est l'endosmose, le courant contraire est l'exosmose.*

Dans l'osmose, comme nous venons de la décrire, il s'agit donc d'un phénomène dynamique, d'un mode de mouvement. Ce phénomène a attiré depuis longtemps l'attention des physiciens, parce que la connaissance de ses lois est indispensable pour l'explication des phénomènes vitaux des plantes et des animaux. L'absorption des liquides par la racine de la plante vivante, est surtout due à un phénomène d'osmose.

Pfeffer (*) a réussi à transformer le phénomène dynamique en un phénomène statique. Il sut remplacer la membrane par une paroi hémiperméable, qui laisse passer les molécules de l'eau, mais non celles du sel.

(*) *Osmotische Untersuchungen*. Leipzig 1887.
Le docteur Tamman également a traité ce sujet dans son écrit : *Ueber Osmose durch Niederschlags membrane.*

Pour obtenir cette membrane il remplissait des vases de pile avec une solution de sulfate de cuivre, puis il les nettoyait soigneusement et les remplissait d'une solution de ferrocyanure de potassium. Il se forme ainsi vers le milieu de la paroi poreuse un précipité de ferrocyanure de cuivre gélatineux, à travers lequel on sait filtrer de l'eau. Si l'on veut y filtrer une solution saline ou sucrée sous une pression plus élevée, l'eau seule passe, tandis que le sel et le sucre restent dans le vase.

Un vase fermé par une telle paroi hémiperméable, rempli d'une solution de sucre de canne, auquel est adapté, un manomètre, est plongé dans l'eau; il présente les phénomènes suivants.

Au début, de l'eau pénètre dans le vase; ce qui est dû à l'attraction de la solution sucrée pour l'eau. Il s'en suit qu'une augmentation de pression sur les parois internes du vase, qui se communique au manomètre. Il n'y a pas d'exosmose, car la membrane ne laisse pas passer les molécules de sucre. L'endosmose seule a lieu, mais elle aussi cesse bientôt. L'eau ne pénètre plus dans le vase, car la pression y est devenue trop forte, pour que l'eau passe autant de l'intérieur vers l'extérieur que de l'extérieur vers l'intérieur. Le manomètre montre une pression constante. *C'est cette pression qui s'appelle la pression osmotique.* C'est ce que les botanistes appellent la *turgescence* dans la cellule végétale vivante.

Pour suivre la voie historique nous devons, à présent, prendre connaissance du travail de De Vries. Il a largement contribué, tout comme Raoult et Pfeffer, à fournir à Van 'T Hoff, des données, qui ont permis à celui-ci d'imaginer sa remarquable conception sur la pression osmotique, que nous exposerons plus loin.

Le phénomène d'osmose doit particulièrement intéresser le physiologiste. Beaucoup de cellules vivantes possèdent les parois hémiperméables dont il a été question plus haut. Dans ses recherches, De Vries a suivi une méthode physiologique et a employé comme objet la cellule végétale vivante. Il a su mettre en relation le phénomène physique de l'osmose avec la composition chimique du suc cellulaire et spécialement avec le nombre de molécules que contiennent les corps qui y sont dissous (*). Dans ce but il employa des cellules de feuilles de *Tradescantia discolor*, de *Curcuma rubricaulis* et de *Begonia manicuta*. Ces cellules sont entourées d'une membrane qui, à la surface externe, devient la cuticule; celle-ci laisse difficilement pénétrer l'eau, mais les autres parois sont très perméables à l'eau et aux solutions.

Leur volume ne change pas dans des solutions très concentrées de sucre ou de sel. A l'intérieur la membrane est tapissée par une mince couche, l'utricule, la partie la plus importante du contenu cellulaire. Cette couche est incolore et renferme le suc cellulaire coloré. Le suc cellulaire est une solution d'une concentration ordinaire de 2 à 3 p. 100. L'utricule laisse facilement passer l'eau, mais il est imperméable pour les corps dissous; lorsqu'une cellule, ainsi constituée, entre en contact avec un liquide, il se produit à l'intérieur une pression osmotique, qui ordinairement, va de 4 à 6 atmosphères. Si on porte une tranche d'un tissu, constitué par ces cellules végétales, dans une solution saline, des phénomènes identiques à ceux que nous avons constatés dans les vases à paroi hémiperméable, s'y présen-

(*) *Verslagen en mededeelingen der Koninklijke Academie van Wetenschappen*. Afdeeling Natuurkunde, 2de reeks. Deel XIX.

teront. Par diffusion le sel passera dans l'eau contenue dans la membrane et y formera une solution d'une même concentration que la solution extérieure. Si maintenant la solution saline est isotonique (*) avec le suc cellulaire à l'intérieur de l'utricule, c'est-à-dire, s'ils attirent de l'eau avec la même force, ou en appliquant les termes que nous avons appris à connaître, s'ils ont la même pression osmotique, — aucun phénomène n'aura lieu. Il y a équilibre osmotique. Si la pression osmotique de la solution est moindre que celle du suc cellulaire, celui-ci soutirera de l'eau à la solution. Le suc cellulaire s'efforcera d'augmenter de volume, ce qu'empêche la membrane rigide. Si, au contraire, la pression osmotique de la solution saline surpasse celle du suc cellulaire, de l'eau sera soutirée à celui-ci, de sorte que la solution saline devient plus étendue. Dans ce cas le volume du suc cellulaire diminue et ne remplit plus toute la cavité de la cellule. A différentes places, l'utricule se détache de la membrane; la solution saline pénètre dans les vides ainsi formés. Cette solution, qui est incolore, est toujours séparée du suc cellulaire coloré, par la membrane protoplasmique. *Ce phénomène, qu'on peut étudier sous le microscope, est la plasmolyse.*

A la fin il y a équilibre osmotique lorsque par l'augmentation de la concentration le suc cellulaire est devenu isotonique avec la solution à l'extérieur. Pour déterminer exactement ce point, il faut rechercher pour quelle concentration de la solution saline la plasmolyse commence et à quel degré de concentration elle cesse. Une solu-

(*) Le terme de solutions isotoniques a été introduit par De Vries, et désigne des solutions qui ont la même pression osmotique. Le mot dérive de ἴσος égale et τόνος tension.

tion d'une concentration moyenne aux deux précédentes, sera isotonique avec le suc cellulaire. Il est évident que des solutions différentes, isotoniques avec un même suc cellulaire, sont isotoniques entre elles, c'est-à-dire que dans les mêmes conditions elles exerceraient l'une par rapport à l'autre la même pression osmotique. Par ce procédé, De Vries détermina les quantités de sels et de corps organiques qui, dissous dans l'eau, sont isotoniques (*).

Ce que Raoult avait fait pour l'abaissement du point de congélation, De Vries le fit pour la pression osmotique; il la mit en rapport avec le poids moléculaire des corps dissous. De cette manière il découvrit une loi, empirique comme celle de Raoult, et qui elle aussi devint un point d'appui pour les généralisations de Van 'T Hoff. Il trouva que des combinaisons appartenant à un même groupe chimique, et qui donnent des solutions isotoniques, sont celles qui, sous un même volume, ont un même nombre de molécules. En même temps ses recherches prouvèrent, que la quantité des molécules de corps appartenant à des groupes différents, nécessaires pour donner lieu à l'isotonie dans un même volume de dissolvant, que ces molécules étaient entre elles comme les petits nombres 2, 3, 4 et 5.

Abstraction faite de l'appui qu'elle donna aux théories de Van 'T Hoff, cette loi empirique de De Vries eut des effets pratiques immédiats. Comme la loi de Raoult, elle renfermait une nouvelle méthode de détermination du poids moléculaire. On veut, par exemple, connaître

(*) De Vries se servit encore d'une autre méthode physiologique, celle des tensions des tissus, qui servit de contrôle à la méthode plasmolytique. Voyez les *Comptes rendus de l'Académie royale* déjà cités.

le poids moléculaire d'une combinaison. Par la méthode physiologique de De Vries, on détermine que la solution dans l'eau du corps à examiner, solution qui pour 100 cm³ renferme p grammes du corps, est isotonique avec le suc cellulaire de cellules déterminées. On dissout dans l'eau une autre combinaison dont le poids moléculaire est connu et on recherche la concentration qui est isotonique avec le suc cellulaire de cellules de la même espèce. Supposons qu'à cette concentration il y a q grammes de la combinaison pour 100 cm³ d'eau. Alors dans q grammes de la dernière combinaison il y a autant de molécules que dans p grammes du premier corps. Si une molécule de la combinaison connue pèse a, le poids du corps examiné est $a \times p : q$. C'est ainsi qu'on peut comprendre ce fait remarquable qu'un physiologiste a, comme tel, résolu un problème de chimie pure; c'est ce que fit De Vries (*).

Nous faisons suivre ici une description du cas, comme illustration de ce qui précède, quoique cette recherche n'ait pas eu lieu en même temps que celles que fit De Vries, sur l'isotonie.

Dans la fabrication du sucre de betterave, on obtient une mélasse qui renferme encore un sucre spécial, la raffinose. Cette substance cristallise en aiguilles et est moins soluble dans l'eau et plus soluble dans l'alcool que la saccharose. La détermination du poids moléculaire de la raffinose par la méthode chimique offrait des difficultés, qui rendaient douteux les résultats. De là des différences très sensibles entre les différents nombres obtenus.

Berthelot et Ritthausen donnaient 396, Loiseau et

(*) *Zeitschrift für physikal. Chemie*, II, 6, s. 430.

Scheibler 594, Tollens et Rischbied 1,188 (*) comme poids moléculaire. De Vries examina la question et conclut que Loiseau et Scheibler étaient le plus près de la vérité. Au moyen de sa méthode il trouva qu'une solution de saccharose dans l'eau, contenant 34,2 gr. 0,1 de gramme molécule par litre, est isotonique avec une solution de raffinose de 5,957 p. 100 (59,57 grammes par litre). Cette dernière solution renferme donc aussi 0,1 gramme-molécule du corps dissous. Le poids d'une molécule de raffinose est donc 595,7, nombre qui est suffisamment voisin de celui accepté par Loiseau et Scheibler.

On avait donc trouvé trois lois empiriques, celle de l'abaissement moléculaire de congélation; celle de la diminution moléculaire de tension de vapeur (de Raoult) et celle exprimant le rapport entre la pression osmotique et le nombre de molécules d'une solution (De Vries). De Vries, le premier, trouva la relation entre ces trois lois (**). Lorsque nous aurons vu que Van 'T Hoff les ramena plus tard à un principe plus général, nous pourrons constater que cette idée de De Vries avait son importance. Fixons y donc notre attention.

Comme nous l'avons vu, De Vries détermina le nombre de grammes-molécules, que doivent contenir mêmes volumes de solutions de corps différents pour exercer une égale pression osmotique. Il fit ses recherches sur des solutions très étendues et par le calcul il appliqua ses résultats à des solutions plus concentrées, se basant sur cette donnée que la pression osmotique est en raison

(*) Ces poids moléculaires correspondent respectivement aux formules : $C^{12}H^{22}O^{11} + 3H^2O$, $C^{18}H^{32}O^{16} + 5H^2O$ et $C^{36}H^{64}O^{32} + 10H^2O$.

(**) *Verslagen en mededeelingen der koninklijke Académie van Wetenschappen.* Afd. natuurkunde, 2de reeks, deel XIX.

directe de la concentration. De ses chiffres on peut facilement déduire les pressions osmotiques que doivent exercer ces solutions lorsqu'elles renferment un même nombre de molécules du corps dissous dans un même volume. Les nombres qui expriment les rapports de ces pressions ont été appelés par De Vries *coefficients isotoniques*. Il prend pour base le coefficient 3 d'une solution de nitrate de potassium (*).

De Vries put ainsi ranger les corps étudiés en certains groupes, de telle façon que les corps d'un même groupe possèdent le même coefficient isotonique. C'est ainsi que la saccharose et quelques acides organiques formèrent un groupe, qui avait pour coefficient isotonique environ 2; tandis que les nitrates et les chlorures de sodium et de potassium avait environ 3 pour coefficient.

Raoult également et aussi De Coppet, qui travaillait dans la même voie que le premier, rangèrent les corps en groupes en se basant sur l'abaissement moléculaire de congélation. Raoult mit dans un seul groupe toutes les combinaisons organiques non métalliques ; l'abaissement moléculaire de congélation était le même pour toutes. De Coppet (**) expérimenta sur des combinaisons

(*) Les coefficients isotoniques de De Vries ont été déterminés pour des solutions d'une concentration de 0,5 à 5 p. 100 qui exerçent une pression osmotique de 4 à 6 atmosphères. Plus tard H. J. HAMBURGER détermina les coefficients isotoniques en interprétant les phénomènes que présentent les globules du sang au milieu des solutions. Lorsque la pression osmotique de la solution est plus grande que celle du contenu des globules, ceux-ci se déposent sur le fond du vase. Si la première pression est plus faible que la seconde, la masse colorante rouge sort des globules.

S'il y a isotonie, les globules flottent longtemps et aucun changement ne s'y produit. Les coefficients de Hamburger coïncident avec ceux de De Vries. H. J. HAMBURGER. *Onderzoek phys. lab.* Utrecht. III, reeks 9, 30 et 32.

(**) *Ann. de chim. et de phys.*, 4e série XXIII p. 366, XXV p. 502, XXVI p. 98.

inorganiques et forma plusieurs groupes. Pour les membres de chaque groupe, l'abaissement moléculaire de congélation était le même; il différait d'un groupe à l'autre.

Quoique le nombre de ses groupes différât de celui des deux physiciens, De Vries montra qu'il y avait cependans une coïncidence parfaite entre les rapports de ses coefficients isotoniques et ceux des abaissements moléculaires de congélation des groupes de Raoult et De Coppet. Il montra que des corps qui, d'après Raoult et De Coppet subissaient, des variations particulières, les subissaient pour lui, dans le même sens. C'est ce qui fit que De Vries exprima l'idée que les deux séries de phénomènes étaient soumis à la même loi.

En même temps il devenait évident, qu'une cause perturbatrice déterminée était en jeu, qui agissait de la même façon dans tous les phénomènes. En effet ce n'était que dans les limites de groupes déterminés et non pour tous les corps sans distinction, qu'un même nombre de molécules du corps dissous dans un même volume de véhicule, donnait lieu à l'isotonie et au même abaissement du point de congélation.

C'est Arrhenius qui a eu le grand mérite de faire connaître cette cause par sa théorie de la dissociation électrolytique.

Plaçons-nous à présent au point de vue d'où les résultats de Raoult, De Coppet et De Vries se montrent comme un tout. C'est Van 'T Hoff qui sut s'élever à cette hauteur, d'où il embrassa tous les détails. On avait trouvé des lois, qui, inévitablement, montraient une relation entre les propriétés physiques d'une solution et le nombre de molécules du corps dissous. Ce pouvait être

une relation du même genre que celle qui lie les propriétés des gaz au nombre et au mode de mouvement des molécules. Ce que quelques-uns pressentaient, fut résolument et nettement formulé par Van 'T Hoff et il rendit sa théorie complète par des expériences et par des calculs mathématiques. Les résultats obtenus de cette manière par Van 'T Hoff sont sans aucun doute la plus importante acquisition qu'ait faite la physique dans les dix dernières années.

Pour apprendre à connaître le travail de Van 'T Hoff dans ses grandes lignes, nous devons nous rappeler l'état d'équilibre osmotique décrit à la page 80. Cet état est fort singulier.

Les molécules de l'eau ne peuvent différer en rapidité de mouvement à l'extérieur et à l'intérieur du vase.

L'équilibre rompu un moment serait immédiatement rétabli, car la paroi laisse passer les molécules. Si on ne considère que la pression sur la paroi on peut faire abstraction de l'eau. Il en résulte que la pression osmotique n'est due qu'au corps dissous. Van 'T Hoff sut donner une signification plus générale à cette pression, ces phénomènes devinrent ainsi d'un haut intérêt. Il fut l'un des créateurs de la science, lorsqu'il conçut la pression osmotique comme complètement analogue à la pression exercée par un gaz. Il considérait la pression osmotique comme étant produite par les chocs des molécules du corps dissous contre la paroi, tout comme la pression d'un gaz est la résultante des chocs moléculaires.

Selon Van 'T Hoff nous pouvons nous imaginer l'espace du vase comme un espace vide, excepté la partie qui renferme les molécules du corps dissous. Ceux-ci s'y

meuvent comme le feraient des molécules gazeuses. Pour la théorie donc il est absolument identique, quant à l'état d'équilibre osmotique qu'un espace donné renferme une quantité déterminée de gaz ou une quantité déterminée d'un corps solide en solution étendue.

Van 'T Hoff a montré (*) que les lois des gaz peuvent parfaitement s'appliquer aux solutions étendues, en ayant soin de remplacer la pression du gaz par la pression osmotique. Des solutions très étendues jouissent des mêmes propriétés qu'un gaz idéal. Si un vase, dont l'une des parois est un piston mobile, est rempli d'un gaz, on peut exercer une pression sur celui-ci qui en diminue le volume et en augmente la pression. Le même résultat s'obtient si au moyen d'un piston on comprime une solution étendue renfermée dans un vase à paroi hémiperméable. La pression osmotique augmente, en même temps que l'eau s'échappe par la paroi. Il s'ensuit naturellement une augmentatton de la concentration de la solution et cela dans une mesure exprimée par la loi de Boyle. Celle-ci peut donc encore s'énoncer pour les gaz : pour une température constante, la densité d'un gaz est en raison directe de la pression.

Van 'T Hoff rappelle que Pfeffer trouva en 1877, qu'à une température constante la pression osmotique est en raison directe de la concentration des solutions. Cette concentration est donc analogue à la densité d'un gaz. Pfeffer trouva les nombres suivants pour une solution de sucre :

(*) *Philosophical Magazine*, vol. XXVI, Fifth series, july-déc., 1888, p. 81. *Arch. Néerlandaises*, 20, 1886, p. 239, et *Comptes rendus de l'Acad.*, 1884-1888.

Concentration.	Pression osmotique.		Rapport.
1 p. 100	53,5 cm.	mercure	53,5
2 —	101,6	—	50,8
4 —	208,2	—	52,1
6 —	307,5	—	51,3

Ces nombres nous montrent aussi quelle valeur considérable peut atteindre la pression osmotique. Une solution ne renfermant que 6 p. 100 de sucre, exerce déjà une pression osmotique égale à une colonne de mercure de 307,5 cm, c'est-à-dire environ 4 atmosphères.

Pour les gaz la pression est indépendante de la nature du gaz. De même la pression osmotique ne dépend pas de la nature du corps dissous.

D'après la loi de Gay-Lussac un gaz à volume constant doit augmenter sa pression en raison directe de la température absolue.

Van 'T Hoff a déduit des expériences de Pfeffer que la même loi existe pour la pression osmotique. Pfeffer avait trouvé qu'une solution de tartrate de soude, qui à une température de 37° (37 + 273 = 310 temp. abs.) exerce une pression osmotique de 98,3 centimètres, marque à 13°,3 (13°,3 + 273 = 286,3 temp. abs.) une pression osmotique de 90,8 centimètres. Si on fait le calcul d'après la loi de Gay-Lussac, la pression à 13°,3 (286,3 temp. abs.) serait 98,3 × 286,3 : 310 = 90,7. Les deux résultats sont donc très approximativement égaux.

Représentons-nous par l'imagination les phénomènes qui se produisent dans une solution renfermée dans un vase à paroi hémiperméable, suspendu dans l'eau et dont on augmente la température. Nous y verrons les mêmes phénomènes que nous avons constatés dans un gaz ren-

fermé et chauffé; la théorie cynétique nous fait voir les molécules du sel accélèrant leur mouvement et augmentant ainsi progressivement le nombre et l'intensité des chocs contre la paroi. Le manomètre indique une augmentation de pression.

Une des plus importantes conclusions de la théorie nouvelle, est celle que la loi d'Avogrado ne s'applique non seulement aux gaz, mais également aux solutions étendues. *Deux solutions étendues indiquant une même pression osmotique, donc isotoniques, contiennent sous un même volume, un même nombre de molécules du corps dissous. Le nombre de ces molécules doit être égal à celui que renferme un même volume de gaz sous la même pression que la pression osmotique.* En résumé, à nombre égal de molécules, sous même volume et même température, la pression d'un gaz et la pression osmotique sont équivalentes. Pfeffer trouva 2/3 atmosphère, comme pression osmotique d'une solution de sucre à 1 p. 100 à 7°. Cette solution renferme 1 gr. de sucre pour 100 gr. d'eau, c'est-à-dire 1 gr. de sucre dans 100,6 cm_3 de solution. Comparons à l'hydrogène. Une molécule d'hydrogène pèse 2 et une molécule de sucre de canne 342; donc dans 2 : 342 = 0,00585 gr. d'hydrogène il y a autant de molécules que dans 1 gramme de sucre. Il faut donc qu'à 7°, 0,00585 gr. d'hydrogène sous un volume de 100,6 cm_3, exerce également une pression de 2/3 atmosphère. C'est ce qui a lieu en effet. 1 cm_3 d'hydrogène à 0° et à une pression d'une atmosphère pèse 0,0000895 gr. (*). Dans 1 cm_3, 0,00585 gr. d'hydrogène exercent donc une pression de 0,00585 :

(*) Van 'T Hoff donne 0,0000896. Le nombre 0,0000895 est plus en usage.

0,0000895 atmosphères; dans 100,6 cm_3 cette pression deviendra 0,00585 : 0,0000895 : 100,6, et à 7° dans les mêmes conditions 0,00585 : 0,0000895 : $100{,}6 \times 280/273 = 2/3$ atmosphère environ.

Nous pouvons donc nous représenter le sucre dissous sous forme gazeuse.

A présent que nous avons pu étendre les lois de Boyle, de Gay-Lussac et d'Avogrado aux solutions étendues, nous pouvons aussi appliquer à cette dernière le calcul qui a pour base ces trois lois. Nous avons vu que pour une molécule-gramme d'un gaz le produit du volume par la pression (celle-ci exprimée par le poids en grammes de la pression sur le cm_2) divisé par la température absolue est égal à 84570. Appliquons ce calcul à des résultats de Pfeffer. Une solution de sucre d'un pour cent à 7° exerce une pression osmotique égale à une colonne de mercure de 50,6 cm (2/3 atmosphères), (c'est-à-dire $50{,}6 \times 13{,}59 = 687{,}6$ gr. par cm_2). En faisant le calcul avec ces données nous trouvons très approximativement 84500. La légère différence est due à des erreurs d'expérience (*).

Il n'y a rien d'extraordinaire à ce que des théories d'une si grande portée aient attiré l'attention générale. Plusieurs physiciens distingués, des maîtres dans le domaine des mathématiques, comme dans celui de l'expérience, suivirent bientôt la voie indiquée par Van 'T Hoff, car elle promettait des résultats bien intéressants. Raoult avait découvert les lois de l'abaissement moléculaire de con-

(*) Voici ce calcul : le poids moléculaire de l'hydrogène est 2, celui du sucre 342. Dans $342 \times 100{,}6 = 34405$ cm_3 de la solution de sucre à 1 p. 100 à 7° exerçant une pression osmotique de 687,6 gr. par cm_2 (2/3 atmosph.), il y a donc 1 molécule-gramme de sucre. La température absolue est $7 + 273 = 280$. Le résultat est alors : $687{,}6 \times 34405 : 280 = 84500$. Ce dernier nombre n'est qu'approximatif, le résultat est 84488.

gélation et d'ébullition. Cependant le groupe de phénomènes qu'ils traitaient, n'était pas encore expliqué dans la plus large acception du mot; en effet, les phénomènes ne sont expliqués complètement que lorsqu'ils sont reconnus être une déduction nécessaire d'un principe plus général; lorsqu'on a pu les ranger à côté d'autres faits d'un autre ordre. C'est encore Van 'T Hoff qui éleva les lois empiriques de Raoult au rang de lois rationnelles.

Il démontra que des solutions, qui sous un même volume renferment un même nombre de molécules, donc des solutions isotoniques, devaient évidemment avoir le même point de congélation et la même tension de vapeur. Il fit remarquer qu'un simple raisonnement suffisait pour établir cette vérité pour tension de vapeur. Il se figure deux solutions isotoniques A et B dans un même vase, mais séparés par une paroi hémiperméable, communiquant à la partie supérieure de façon que des vapeurs pussent se rendre de A en B et vice-versa. Si les tensions de vapeur étaient inégales, par exemple si en A elle était plus forte qu'en B, des vapeurs se rendraient de A en B et s'y condenseraient. Il s'en suivrait qu'en B la solution deviendrait plus étendue et aurait naturellement une pression osmotique plus faible qu'en A. Il passerait donc de l'eau de B en A à travers la paroi, pour rétablir une même pression osmotique. De nouveau il y aurait transport d'eau de A vers B par évaporation, une même quantité passerait de nouveau à travers la paroi de B en A. On aurait trouvé alors un perpetuum mobile. L'hypothèse que des solutions isotoniques à la même température, auraient des tensions de vapeurs différentes, nous donnerait des résultats contraires à toutes les lois

reconnues. Il était donc très probable qu'à des pressions osmotiques égales correspondaient des tensions de vapeur égales.

Van 'T Hoff fit des remarques analogues à propos de la loi de l'abaissement moléculaire de congélation.

Cependant Van 'T Hoff a en outre déduit mathématiquement ces deux lois de la théorie cynétique au moyen des principes de la théorie mécanique de la chaleur (*). En procédant ainsi Van 'T Hoff se posait vis-à-vis de Raoult comme Newton vis-à-vis de Keppler. Celui-ci découvrit les lois qui régissent les planètes dans leur course autour du soleil; Newton par sa conception de la pesanteur universelle, sut en faire une déduction nécessaire d'une loi plus générale.

Van 'T Hoff donna une forme plus générale à la loi de Boyle : *des volumes égaux de solutions étendues, renfermant un même nombre de molécules du corps dissous, ont la même pression osmotique qui, à une température égale, est équivalente à la pression d'un même volume de gaz renfermant le même nombre de molécules.*

Nous avons vu que les coefficients isotoniques et les abaissements moléculaires de congélation et de tension de vapeur étaient vrais dans les limites de certains groupes, mais non pour tous les corps sans distinction; ce fait suppose que les phénomènes sont modifiés par un facteur dont on n'a pas tenu compte. Nous avons dit également que c'est Arrhenius qui révéla ce facteur perturbateur.

(*) Voyez : *Philosophicat Magazine*, vol. XXVI Fifth series July-December 1888, p. 92 et la suite : » J. VAN 'T HOFF. *On thee function of osmotic Pressure in the Analogy between Solutions and Gazes.*

C'est donc le moment d'exposer la conception d'Arrhenius.

Arrhenius émit l'hypothèse, que beaucoup de liquides qui au point de vue chimique sont composés, ont toutes leurs molécules ou au moins une partie d'elles divisées en atomes ou en groupes d'atomes. Ceux-ci ont été appelés *ions;* il les supposait à l'état libre dans le liquide et chargés d'électricité. Il appela ce phénomène *dissociation électrolytique;* un nom qui est bien choisi et que nous comprendrons bientôt.

Le mot de dissociation est depuis longtemps connu des chimistes. Il indique un groupe de phénomènes qui ont été étudiés pour la première fois d'une façon approfondie en 1857, par le chimiste français, Saint-Claire Deville (*). La dissociation est un procès chimique, qui a lieu sous l'influence de la chaleur et de la pression, qui marche de pair avec la chaleur et la pression, et qui ne se termine qu'à une température déterminée. Supposons, qu'en un cas donné, ce procès consiste à diviser les molécules *a* d'une combinaison en molécules *b* et *c*. A chaque température correspond un état d'équilibre, dans lequel un certain nombre de molécules *a* ont été divisées en *b* et *c*. Cet état d'équilibre ne dépendant que de la température et de la pression, est de forme dynamique. A chaque température et à chaque pression déterminées autant de molécules *a* se dissocient en *b* et *c* que de molécules *b* et *c* se recomposent pour former *a*. La proportion de molécules *a*, *b* et *c* reste constante pour une même température et une même pression.

(*) H. Saint-Claire Deville a développé sa théorie de la dissociation dans son livre : *Leçons sur la dissociation*, professées devant la société chimique en 1864, Paris 1866.

Saint-Claire Deville compara le phénomène à ce qui a lieu dans un espace rempli en partie d'un liquide et en partie de sa vapeur saturée. La vapeur arrive à sa tension maximum, (et par là la limite de l'augmentation des molécules de vapeur dans l'espace, se trouve atteinte) lorsqu'il entre autant de molécules dans le liquide, qu'il en sort pour passer à l'état de vapeur. On sait que la tension maximum des vapeurs saturées ne dépend que de la température.

La dissociation a surtout été étudiée pour les gaz et pour les vapeurs. La connaissance du degré de dissociation, que subissent des vapeurs déterminées sous des températures et des pressions différentes, est d'une utilité pratique immédiate pour la chimie, car par la dissociation la densité du gaz se modifie et c'est sur cette densité qu'on se base pour calculer les poids atomiques. Un seul exemple suffira pour démontrer ce changement de densité et en même temps pour mettre en lumière, la dissociation continuelle des molécules sous l'influence de l'augmentation de température.

Le pentachlorure de phosphore est une combinaison dont les molécules sont formées par un atome de phosphore et cinq atomes de chlorure. La vapeur de ce corps se dissocie en molécules de trichlorure, dont une molécule se compose d'un atome de phosphore et de trois atomes de chlore, et en molécules de chlore.

Le tableau suivant donnera une idée de la marche du phénomène avec la température.

Température.	Densité de la vapeur.	Pour cent de molécules dissociées.
182°	5,08	41,7
190°	4,99	44,3
200°	4,85	48,5
230°	4,30	67,4
250°	4,00	80,0
274°	3,84	87,5
288°	3,67	96,2
289°	3,69	—
300°	3,65	97,3

On appelle température de dissociation, le degré de chaleur indiqué au moment où la moitié des molécules est dissociée. Pour le pentachlorure de phosphore elle est d'environ 202° (*).

La densité normale de la vapeur du pentachlorure de phosphore est 7,2 ; à ce moment aucune molécule n'est dissociée. La densité de vapeur du mélange de ses produits de dissociation, trichlorure de phosphore et chlore est 3,6. Donc vers 300° le pentachlorure de phosphore est complètement dissocié en molécules de trichlorure et de chlore.

Lorsqu'on connait le poids spécifique d'un gaz, capable de se dissocier, en même temps que le nombre des molécules formées par la dissociation de la première combinaison ; on peut, connaissant la densité du gaz, calculer pour une température donnée, la valeur de la dissociation, c'est-à-dire le rapport entre le nombre de molécules intactes et le nombre de molécules dissociées. Si on chauffe le gaz dissocié dans un vase ne permettant pas

(*) Ces chiffres ont été empruntés aux résultats de Cahours. *Jahresber, für chem. f.* 1847-48, S. 364. Ils représentent donc les résultats classiques originaux.

sa dilatation, la pression augmentera évidemment dans une proportion plus forte que ne l'indique la loi de Gay-Lussac. Cette augmentation anormale de la pression est due à la quantité de molécules dissociées.

On voit à présent pourquoi Arrhenius appelait sa dissociation en *ions*. Cependant, d'après Arrhenius, son phénomène différait de celui décrit plus haut, en ce que les produits de la dissociation n'étaient pas des molécules mais des atomes et des groupes d'atomes. C'est pourquoi il l'appela *dissociation électrolytique*. Il la compara à celle qui se produit quand des corps composés sont décomposés par le courant électrique ; alors aussi les molécules sont divisées en leurs atomes, tout comme dans l'hypothèse d'Arrhenius. Disons donc quelques mots de ces phénomènes électriques.

Quand un courant électrique passe par une solution aqueuse de sulfate de cuivre, des atomes de cuivre se déposent à l'électrode négatif et des groupes d'atomes SO^4 à l'électrode positif. Comme ces derniers ne peuvent pas exister à l'état libre, il se fait un processus chimique secondaire. Si les électrodes sont en platine, les groupes SO^4 agissent sur l'eau, de sorte qu'il se forme de l'acide sulfurique et de l'oxygène. Celui-ci s'échappe sous forme gazeuse. Si les électrodes sont en cuivre, les groupes SO^4 forment avec le métal du sulfate de cuivre. Nous ne nous occuperons pas davantage de ces processus secondaires.

Ce phénomène est l'électrolyse. Un corps, décomposé par le courant électrique est un électrolyte. Les atomes ou groupes d'atomes, formés par la dissociation des molécules, s'appelent des *ions*. On supposait, que cette division en ions avait lieu dans le liquide sous l'influence

des électrodes chargés d'élecricité positive et négative. Une partie des ions (atomes ou groupes d'atomes de la même espèce de chaque molécule) se mettaient en mouvement vers l'un des électrodes, l'autre partie vers l'autre électrode. Ces éléments se mouvant ainsi dans des directions contraires, se rencontraient chacun avec le groupe d'atomes qu'il lui fallait pour former une molécule complète ; de là recomposition. Il n'y avait que les molécules extrêmes qui ne se rencontraient pas, celles qui étaient le plus près des électrodes, la recomposition ne pouvant avoir lieu, elles se déposaient sur les électrodes. Donc, dans le cas de l'électrolyse du sulfate de cuivre, il se déposait sur les électrodes, et seulement sur ceux-ci, d'un côté des atomes de cuivre, tandis que de l'autre côté les groupes d'atomes SO^4 devenaient libres.

Arrhenius supposa que dans la solution d'un électrolyte les molécules sont déjà en tout ou en partie divisées en ions et que cette division n'avait donc pas lieu sous l'influence du courant électrique. Supposons d'ailleurs pour simplifier que cette division soit sous tous les rapports identique à celle qui a lieu sous l'action de l'électricité, que, par conséquent, les ions soient de même nature et en même nombre. Nous aurons ainsi une explication quelque peu modifiée des phénomènes, qui se produisent lorsqu'un courant électrique passe à travers la solution d'un électrolyte, du sulfate de cuivre, par exemple. Les ions ne servent alors qu'à transporter l'électricité de l'électrode positif à l'électrode négatif et neutralisent ainsi les différences de potentiel de ces électrodes, et la division des molécules en ions n'est pas due à l'action du courant.

Dans le cas du sulfate de cuivre les atomes de cuivre chargés d'électricité positive, seraient attirés par l'électrode négatif, et se mettraient en mouvement vers celui-ci, tandis que les groupes d'atomes SO^4, se dirigeraient avec leur électricité négative vers l'électrode positif.

Les deux électrodes seraient ainsi continuellement neutralisés par l'électricité qu'apportent les ions.

Faraday, qui étudia le phénomène de l'électrolyse en 1833, en trouva l'importante loi. Il dit que, *lorsque des quantités équivalentes d'électricité passent à travers des électrolytes différents, les quantités en poids de ces corps, décomposées sont entre elles comme leurs équivalents* (*).

La nouvelle théorie nous permet d'envisager cette loi de la manière suivante : *le courant, pour transporter une même quantité d'électricité d'un électrode à l'autre, se sert toujours du même nombre d'équivalents d'ions.*

Supposons, par exemple, que le même courant électrique passe par les solutions de chlorure cuivreux, de chlorure cuivrique et de sulfate d'argent, D'après la loi de Faraday, il se déposera en même temps respectivement deux atomes de cuivre, un atome de cuivre et deux atomes d'argent à l'électrode négatif et deux atomes de chlore, deux atomes de chlore et un atome de SO^4 à l'électrode positif, car ce sont des quantités équivalentes d'ions. Chaque ion ne transporte donc pas

(*) La signification du mot équivalent en chimie ne peut être donnée brièvement. A ce sujet nous renvoyons aux traités de chimie et nous nous bornons à remarquer que des quantités équivalentes des corps A et B, etc., sont celles qui se combinent avec une même quantité d'un troisième corps C et qui peuvent se remplacer dans les combinaisons. On entend par quantités équivalents de différents corps, celles qui au point de vue chimique sont comparables; ils représentent un égal pouvoir de combinaison chimique.

la même quantité d'électricité. En ne considérant que la charge d'électricité, deux atomes de chlorure cuivreux, un atome de cuivre du chlorure cuivrique et deux atomes d'argent du sulfate sont égaux. Les groupes de deux atomes de cuivre, d'un atome de cuivre et de deux atomes d'argent sont équivalents. Disons donc qu'ils ont le même pouvoir chimique. L'électricité se partage donc sur eux en raison de leur pouvoir chimique. Celui-ci augmentant, la capacité électrique des ions augmente dans la même proportion jusqu'à un certain point, on peut comparer les ions à des navires qui voguent entre les deux électrodes, transportant de l'électricité. La différence dans le potentiel des ions par rapport à la quantité d'électricité, pourrait être comparée à une différence dans la charge des navires. La partie de l'électrolyte non décomposée, ne prend aucune part au transport de l'électricité; c'est-à-dire que seules, les molécules décomposées, les ions, peuvent se charger d'électricité aux électrodes.

On sait, que tous les corps ne conduisent pas également bien l'électricité. Des différences analogues existent pour la propagation de la chaleur dans les différents corps. Chacun sait, que les objets en métal qui doivent être chauffés et qu'on doit prendre à la main, sont pourvus d'un manche en bois.

La force qui pousse l'électricité sous forme d'un courant, siège dans la pile électrique; c'est la force électromotrice. Son intensité dépend de la nature des solides et des liquides qui forment la pile. Si, dans le trajet d'un courant, la force électromotrice restant la même, nous remplaçons les bons conducteurs par de mauvais, au lieu d'un fil de cuivre, un fil de platine de

même longueur et de même diamètre par exemple, le courant faiblit; en d'autres termes, dans le même temps une quantité d'électricité moindre passe à un même endroit du fil. Quelques liquides composés ne transmettent pas l'électricité; d'autres bien, ce sont les électrolytes. Par ce qui précède, ce fait reçoit une singulière interprétation. La conductibilité, le transport de l'électricité, dépendrait donc dans un liquide électrolytique de l'existence des ions.

Or dans des liquides qui ne transmettent pas le courant, toutes les molécules sont restées intactes; ils n'ont pas d'ions (*). Allons plus loin. Plus un liquide contient d'ions, plus il est bon conducteur d'électricité. S'il n'y a pas de navires aucun transport ne peut avoir lieu. Plus il y a de navires disponibles, toutes choses égales d'ailleurs, plus on transportera par cette voie.

Qu'on ne croie pas que ceci soit en opposition avec la loi de Faraday. La quantité totale d'électrolyte décomposée, dépend aussi de la force du courant. On fait passer un courant à travers un électrolyte, qui est en partie dissocié en ions. De l'une ou de l'autre manière on augmente le nombre de molécules qui a subi la dissociation : la force du courant augmente. On ramène l'intensité du courant à ce qu'elle était d'abord en interposant des résistances. De cette façon il se décompose dans le même temps la même quantité d'électrolyte que dans la première expérience. On a bien augmenté le nombre de navires (ions) en remplaçant quelques molécules intactes par des ions; mais en même temps on main-

(*) N'oublions pas qu'il s'agit simplement de liquides chimiquement composés. Des corps simples liquides, le mercure, par exemple, peuvent très bien être de bons conducteurs d'électricité.

tenait le courant électrique transporté à la même intensité. La différence consiste en ce qu'à présent les navires (ions) se meuvent moins vite entre les électrodes, à cause des résistances. La même quantité d'électricicité est transportée par un plus grand nombre d'ions.

Faisons encore une expérience. Un liquide électrolytique est traversé par un courant électrique. Une partie des molécules est dissociée en ions ; 10 p. 100 par exemple. Nous remplaçons alors le liquide par un fil de cuivre de a centimètre de longueur, et nous constatons que le courant a de nouveau la même intensité. La résistance du liquide était donc équivalente à celle du fil de cuivre. Supposons que le liquide soit traversé à nouveau par le premier courant, et qu'en même temps on ait augmenté le nombre de molécules dissociées jusqu'à 20 p. 100, les autres conditions restant les mêmes (*), l'intensité du courant augmente. Pour remplacer le liquide par une partie du même fil de cuivre sans changer l'intensité du courant, nous ne pourrons plus lui donner qu'une longueur $\frac{a}{2}$ centimètre. La résistance du liquide pour le courant est donc réduite de moitié, ou, ce qui revient au même, son pouvoir conducteur a doublé. On obtiendrait des résultats analogues avec toute autre quantité de molécules dissociées. Les déductions sont faciles. En général, les conditions restant les mêmes, la conductibilité pour l'électricité

(*) En réalité on ne pourrait faire l'expérience de la manière qui est décrite, parce que pour augmenter le nombre de molécules dissociées, il faut étendre la solution. On devrait donc faire la détermination au moyen d'un même volume d'une solution plus étendue et ramener le résultat à ce qu'il serait pour la première concentration. La valeur ainsi calculée coïnciderait avec le résultat de l'expérience décrite dans le texte. Pour simplifier, on peut supposer que les choses se sont passées comme elles ont été décrites ci-dessus.

d'un liquide électrolytique augmente avec le nombre des molécules divisées en ions.

Arrhenius, le premier, exprima le rapport entre la conductibilité pour l'électricité et la quantité de molécules dissociées. Il calcula la conductibilité recherchée expérimentalement, et l'exprima en une unité déterminée par des quantités de poids moléculaires de l'électrolyte. Représentons-nous le liquide que traverse le courant, comme contenu dans une petite auge, dont deux des parois sont constituées par des conducteurs qui se trouvent à une distance de 1 centimètre l'un de l'autre. Supposons que dans cette petite auge, il y ait suffisamment de liquide électrolytique, pour qu'il renferme juste une molécule-gramme de l'électrolyte ; d'après Arrhenius on appelle la conductibilité de ce liquide, *la conductibilité moléculaire.*

Lorsqu'on détermine expérimentalement la conductibilité on se sert de solutions de concentrations très diverses et de vases de formes et de dimensions variées. Les résultats doivent donc être ramenés à l'unité, pour exprimer la conductibilité moléculaire.

L'influence de la capacité du vase est déterminée par une expérience spéciale et elle donne une première correction. La valeur ainsi obtenue, pour la conductibilité, est multipliée par le nombre qui exprime la quantité de litres qui contiennent en dissolution une molécule-gramme de l'électrolyte. Le produit obtenu est la conductibilité moléculaire cherchée. Un exemple nous fera mieux comprendre ceci.

Le poids moléculaire du sel de cuisine est 58,5. Supposons qu'on ait déterminé la conductibilité au moyen d'une solution qui contient 5,85 grammes de sel par

litre. Une solution de cette concentration s'obtient en dissolvant 58,5 grammes (une molécule-gramme) dans 10 litres d'eau. La valeur trouvée expérimentalement et corrigée doit être multipliée par 10. Cette opération faite, on a trouvé la valeur de la conductibilité, exprimée par la conductibilité moléculaire du sel de cuisine.

Arrhenius, par ces vues nouvelles sur la dissociation des électrolytes, donnait non seulement une théorie qui devait avoir d'heureux résultats, mais en même temps par la détermination de la conductibilité moléculaire de l'électricité, il donnait un moyen d'établir dans chaque cas particulier le degré de dissociation. Si par le procédé décrit ci-dessus on a déterminé la conductibilité d'un liquide électrolytique à différentes concentrations dans l'eau et si on l'a ramenée par le calcul à des nombres exprimant la conductibilité moléculaire, tous les résultats trouvés devraient avoir la même valeur, si le degré de dissociation des molécules n'augmentait pas à mesure que les solutions sont plus étendues. En réalité la conductibilité moléculaire acquiert une valeur plus grande, à mesure que l'expérience se fait avec des solutions plus étendues. Au point de vue de la théorie d'Arrhenius cela démontrerait que le nombre de molécules dissociées augmente à mesure que la solution devient plus étendue.

Ainsi l'acide formique a pour conductibilité moléculaire 14 à 14°, lorsqu'elle est déterminée par une solution renfermant 0,1 molécule-gramme par litre, tandis qu'elle monte à 108 pour une solution qui contient une molécule-gramme par 100 litres; et elle atteint une valeur maximum de 330, pour une solution renfermant une molécule-gramme sur 800 litres d'eau.

Ce n'est donc que dans des solutions extrêmement étendues que toutes les molécules de l'électrolyte sont divisées en ions. Dans beaucoup de cas, entre autres pour plusieurs sels, cet état de dissociation complète est atteint pour des solutions très étendues mais qu'il est possible de préparer, par exemple, une molécule-gramme dans 1000 litres d'eau.

D'après Oswald une solution de chlorure de potassium, renfermant 74,5 grammes par litre, serait déjà complètement dissociée en ions de potassium et de chlore.

De ce qui précède on peut déduire que : *la quantité de molécules dissociées d'un électrolyte dans une solution d'une concentration connue, est égale au rapport de la conductibilité moléculaire de cette solution à celle d'une solution extrêmement étendue*. La quantité de dissociation peut donc se déduire des données électriques.

A présent que nous connaissons l'hypothèse d'Arrhenius, reste à savoir si en effet elle peut rendre compte des variations de la loi de Boyle, telle que Van 'T Hoff l'a appliquée aux solutions étendues. La réponse est facile. Immédiatement ce fait frappant se présente, que tous les corps qui subissent des anomalies, quant à la loi de l'abaissement moléculaire de congélation et de la tension de vapeur, et qui donnent des coefficients isotoniques également anormaux, sont des électrolytes. Déjà en expliquant la dissociation en molécules de Saint-Claire-Deville, nous faisions observer que, lors de la dissociation d'un gaz, là ou la dilatation ne peut avoir lieu, on constate une augmentation anormale de la pression. Le même cas se présente dans la dissociation élec-

trolytique, car, par rapport à la pression osmotique, les ions jouent le même rôle que les molécules.

Exemple. — Dissolvons une molécule-gramme de sucre de canne, qui n'est pas un électrolyte et par conséquent ne se dissocie pas en ions, dans un litre d'eau; dans une même quantité d'eau, dissolvons une molécule-gramme de salpêtre, qui, lui, est un électrolyte. D'après la loi de Van 'T Hoff, ces deux solutions, renfermant chacune le même nombre de molécules du corps dissous sous un même volume, devraient exercer une égale pression osmotique.

En réalité cependant la solution de salpêtre, par suite de sa dissociation électrolytique, renferme plus de molécules du corps dissous que la solution de sucre. Si donc la solution de salpêtre donne une pression osmotique anormale plus élevée, c'est au nouveau facteur introduit par la dissociation qu'elle est nécessairement due. Lorsque De Vries trouve comme coefficient isotonique du nitrate de potassium et de l'acide oxalique respectivement 3 et 2, ce fait s'explique par la présence dans la solution de salpêtre de trois molécules (des ions obtenus par dissociation sont comptés comme molécules) tandis que la solution d'acide oxalique n'en renferme que 2. Les mêmes remarques peuvent se faire pour les lois de Raoult; là où il obtient un abaissement du point de congélation plus notable qu'on ne s'y attendait d'après la loi de Van 'T Hoff, nous trouvons en même temps que le nombre de molécules a été augmenté par la dissociation.

Voyons maintenant si les variations de la loi de Van 'T Hoff sont suffisamment expliquées par l'hypothèse d'Ar-

rhenius. Supposons, avec Arrhenius, qu'il n'y a aucun doute sur le fait de la dissociation électrique. Par différentes méthodes empruntées aux lois empiriques, nous pouvons calculer la quantité de dissociation de molécules dans un même liquide. Si les variations des différents groupes de phénomènes sont dues exclusivement au même facteur, la dissociation électrolytique, nous devons trouver pour toutes ces expériences des résultats donnant la même quantité de dissociation. Si donc tous ces résultats sont identiques, on peut considérer la loi de Van'T Hoff comme générale, quitte à corriger les quantités par les résultats de la dissociation électrolytique; on aurait ainsi une image complète de la réalité.

Pour donner une idée concrète à ce sujet, nous allons comparer les déterminations de ces quantités obtenues d'un côté au moyen de données électriques, de l'autre au moyen de la loi de Raoult de l'abaissement moléculaire de congélation. Ordinairement, on se base sur les données de l'expérience pour exprimer le rapport entre le nombre de molécules (les ions sont considérés comme tels) réellement en présence, et le nombre de molécules qui s'y trouveraient s'il n'y avait pas de dissociation. On a trouvé un abaissement moléculaire de congélation de t°, on le divise par le nombre qu'on a trouvé pour le cas normal de l'abaissement moléculaire de congélation, c'est-à-dire quand il n'y a pas eu de dissociation. Ce nombre est 18,7. Le quotient ainsi déterminé aura la signification ci-dessus indiquée. Rappelons-nous, en effet, que dans ce cas la loi de Raoult nous indique un abaissement de $18^{\circ},7$ pour chaque molécule-gramme dans la solution.

Voici comment on procède pour obtenir, au moyen de données électriques, une expression comparable. Nous savons que la quantité de dissociation nous donne le rapport entre la conductibilité dans un cas déterminé et celle que possède une solution très étendue. Elle nous donne la proportion des molécules du corps dissous qui a été divisée en ions. Cette fraction multipliée par 100 donnerait ainsi le pour cent des molécules dissociées. Si on trouve 0,04 comme quantité de dissociation pour une solution d'acide formique formée à 14°,4 p. 100 des molécules d'acide formique ont été dissociées. Sur 100 molécules d'acide il y en a 4 dissociées et 96 intactes. Supposons chaque molécule dissociée en a ions. Chaque centaine de molécules devient alors $96+4a$ molécules (les ions sont toujours considérés comme des molécules). Le rapport entre le nombre de molécules réellement présentes et celui qui s'y trouverait s'il n'y avait pas eu de dissociation s'exprime alors par le quotient $\frac{(96+4)\,a}{100}$ ou $0{,}96+0{,}04a$.

De nombreuses expériences ont été faites dans ce sens. Les recherches faites sur 90 corps différents n'ont donné des résultats non satisfaisants que dans 20 cas. Les 70 autres donnèrent le même quotient que dans les deux séries d'expériences, celles par la méthode électrique et celle par la méthode de l'abaissement de congélation.

Les 20 corps qui avaient paru faire exception, furent examinés à nouveau. On avait, en effet, constaté que Raoult s'était souvent servi de solutions concentrées, tandis que la loi de Van 'T Hoff n'a été formulée que pour les solutions étendues; ce n'est en effet que dans ce cas

que la comparaison avec un gaz est possible. Les nouveaux résultats déduits de ses expériences faites sur des solutions plus étendues coïncidaient d'une façon satisfaisante avec ceux déduits de la conductibilité moléculaire électrique. Voici quelques-uns de ces résultats :

CORPS.	NOMBRE DE GRAMMES DU CORPS DISSOUS DANS 100 cm^3 DE LA SOLUTION.	ABAISSEMENT DU POINT DE CONGÉLATION.	RAPPORT ENTRE LE NOMBRE DE MOLÉCULES EFFECTIVEMENT PRÉSENTES, ET CELUI QUI S'Y TROUVERAIT S'IL N'Y AVAIT PAS DE DISSOCIATION ; DÉTERMINÉ PAR	
			L'abaissement du point de congélation.	La conductibilité électrique.
Phénol.	0,952	0,183	0,96	1
	2,029	0,392	0,96	1
	3,381	0,639	0,94	1
	5,244	0,967	0,93	1
Nitrate d'argent . . .	0,952	0,214	2,02	1,86
	2,381	0,501	1,90	1,81
	5,932	1,143	1,77	1,73
Acide oxalique. . . .	0,867	0,211	1,62	1,55
	1,651	0,375	1,51	1,47
	3,106	0,650	1,40	1,38
Chlorure de calcium.	1,224	0,594	2,62	2,42
	2,206	0,993	2,66	2,34
	3,677	1,706	2,73	2,24

Quelques chiffres nous montreront aussi que ces quantités coïncident encore lorsqu'elles sont déduites des coefficients isotoniques et de la conductibilité

électrique. Voici une partie d'un tableau, publié par De Vries (*).

CORPS.	NOMBRE DE GRAM. DU CORPS DISSOUS DANS 100 cm³ DE SOLUTION.	TOTAL DES MOLÉCULES ET DES IONS DÉTERMINÉ PAR	
		Les coefficients isotoniques.	La conductibilité électrique.
Mauvais conducteurs.			
Glycérine	—	100	100
Sucre de raisins	—	106	100
Sucre de canne	—	101	100
Bons conducteurs.			
Acide malique.	—	111	107
— tartrique	—	113	111
Nitrate de potassium. .	1,313	169	180
— de sodium. . . .	1,105	169	173
Chlorure de potassium.	1,490	169	184
— de sodium. . .	0,936	171	182
— d'ammonium.	0,695	169	185
— de calcium et de magnésium	0,999 (**)	243	246 (***)

Le lecteur aura déjà fait la remarque que les chiffres des deux dernières colonnes du premier tableau doivent être multipliés par 100, pour leur donner la signification des deux dernières colonnes du second tableau.

Les chiffres contenus dans ces tableaux n'exigent aucune explication. Ils nous montrent clairement que l'hypothèse d'Arrhenius répond, en effet, au but, dans lequel elle a été proposée (****). Elle explique d'une façon

(*) *Zeitschrift für physik. Chemie*, II, 6,439.

(**) A été calculé comme si la solution renfermait du chlorure de calcium. De Vries donne les concentrations en équivalents-grammes par litre.

(***) En réalité ce nombre a été trouvé pour le chlorure de baryum, comme le dit d'ailleurs de Vries.

(****) Au début les chimistes ont fait quelques objections à la théorie de dissociation d'Arrhenius. Ils trouvaient étrange, que des ions libres, des atomes de chlore et d'iode, par exemple, existassent dans un liquide sans y manifester aucune de leurs propriétés. Arrhenius a levé en grande partie cette difficulté en faisant remarquer que les ions sont for-

très satisfaisante les écarts que les phénomènes réels présentaient d'avec la loi de Van 'T Hoff.

Sur ce point elle suffit complètement et nous n'avons plus aucune raison pour ne pas croire à la généralité de la loi de Van 'T Hoff.

C'est ainsi qu'Arrhenius plaça la dernière pierre sur ce bel édifice dont les fondements avaient été jetés par De Coppet, De Vries et Pfeffer et auquel Ostwald collabora activement. Il porte en front le nom de Van 'T Hoff, celui de l'architecte, qui détermina les grandes lignes du plan, qui dirigea le travail commun et lui donna l'unité.

tement chargés d'électricité, de sorte que leurs propriétés pouvaient en être profondément modifiées. Les éléments que nous connaissons à l'état libre, sont formés de molécules composées d'un nombre d'atomes plus ou moins grand, nullement chargés d'électricité.

Nous faisons encore remarquer en passant, que la théorie de la dissociation électrolytique a une grande signification pour plusieurs notions fondamentales de la chimie. Au point de vue d'Arrhenius, les acides et les bases, en général tous les corps sont d'autant plus propres à entrer en réaction chimique, qu'ils ont plus de molécules dissociées. L'acide nitrique et l'acide chlorhydrique qui sont très énergiques ont déjà subi une forte dissociation, tandis que pour l'acide acétique, qui est un acide faible, elle a à peine commencé.

LES DÉCOUVERTES RÉCENTES

DANS

L'ANATOMIE ET L'HISTOLOGIE

DU

SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

CONFÉRENCE DONNÉE A LA SOCIÉTÉ BELGE DE MICROSCOPIE

LE 25 AVRIL 1891

PAR

A. VAN GEHUCHTEN
Professeur d'anatomie à l'Université catholique de Louvain.

LES DÉCOUVERTES RÉCENTES DANS

L'ANATOMIE ET L'HISTOLOGIE

DU

SYSTÈME NERVEUX CENTRAL

Mesdames, Messieurs,

De tous les systèmes de l'organisme, le système nerveux est, sans contredit, celui qui mérite le plus de fixer l'attention de l'anatomiste et du physiologiste. Quelle que soit, en effet, la partie du corps que l'on examine au point de vue de sa structure, on est toujours sûr d'y rencontrer des éléments nerveux; quel que soit l'organe que l'on étudie au point de vue de ses fonctions, on a toujours à tenir compte de l'influence nerveuse. Le système nerveux, on le trouve partout : aussi bien dans les muscles où il porte l'incitation motrice venue des parties centrales, que dans les parties périphériques du corps, dans nos téguments externes où il est destiné à recueillir les impressions du dehors et à les transmettre aux parties centrales. Il existe dans tous les organes. Il pénètre dans tous les tissus. Il tient sous sa dépendance toutes les fonctions. C'est le système le plus important du corps, celui qui vivifie en quelque sorte tous les autres systèmes de l'organisme.

Cette prédominance du système nerveux se marque

déjà au seuil même du développement embryologique. Il est le premier à se dessiner et à se développer, marquant ainsi nettement, dès les premiers jours de notre existence intra-utérine, son importance capitale. Le système nerveux en un mot domine tout notre être.

Et cependant, chose étrange, ce système est aussi celui qui nous est le moins bien connu, et cela à la fois au double point de vue de sa structure et de ses fonctions. Nous connaissons la structure intime et le fonctionnement régulier de la plupart des organes placés sous la dépendance du système nerveux ; nous ignorons presque complétement la structure et le fonctionnement du système nerveux lui-même.

Cependant, ce ne sont pas les travailleurs qui ont fait défaut. Elle serait longue à dresser la liste de tous ceux qui ont étudié une partie quelconque de l'axe cérébro-spinal. Mais dans cette étude on se heurte à des difficultés toutes particulières. Le tissu nerveux est mou et délicat, il s'altère avec une rapidité extraordinaire. Il préside aux fonctions les plus variées et les plus complexes, en même temps que les plus hautes et les plus nobles de l'organisme ; ce qui peut déjà faire présumer qu'il doit avoir lui-même une structure des plus compliquée. Aussi, malgré les efforts persévérants de ces cinquante dernières années, c'est à peine si l'on commence à entr'ouvrir « ce livre fermé à sept clefs », et que l'on parvient à lire quelques-uns de ses caractères jusqu'ici indéchiffrables.

L'étude de la structure interne de l'axe cérébro-spinal, et surtout l'étude du trajet des fibres nerveuses, de loin la plus importante, date seulement de cinquante ans. C'est Stilling qui a inauguré la méthode des coupes

en séries et, avec elle, la poursuite des différents faisceaux nerveux à travers tout le système nerveux central. Pour résoudre le difficile problème du trajet des routes nerveuses, les auteurs se sont adressés tour à tour : à l'étude du système nerveux normal, en variant et en perfectionnant les méthodes d'investigation et de coloration ; à l'étude des dégénérescences secondaires soit pathologiques, soit expérimentales ; à celle des altérations survenues dans l'axe cérébro-spinal, consécutives à des atrophies périphériques soit congénitales, soit accidentelles ; enfin à la fameuse méthode de Flechsig, la plus riche en promesses, consistant à poursuivre les différents faisceaux nerveux à des époques variables du développement embryologique, grâce à ce fait constaté par Flechsig lui-même, que les fibres des différents faisceaux prennent, à des époques différentes, leur gaîne de myéline.

Toutes ces recherches nous ont donné de la structure de l'axe cérébro-spinal une idée générale assez bonne, mais hypothétique en plusieurs points. Je vais la développer en quelques mots pour ce qui concerne la moelle épinière, afin que vous puissiez la mettre en regard des idées nouvelles, et mieux saisir toute la valeur, toute l'importance des découvertes récentes.

La moelle épinière, comme toute partie de l'axe cérébro-spinal, est formée de deux substances : la substance blanche et la substance grise. La substance grise occupe le centre, elle est formée à la fois de fibres nerveuses et de cellules nerveuses. La substance blanche occupe la périphérie, elle est formée exclusivement de fibres nerveuses, abstraction faite, bien entendu, de la neuroglie et des cloisons conjonctives dépendant de la pie-mère enveloppante.

Lorsqu'on fait une coupe transversale de la moelle épinière à n'importe quel niveau, et que l'on examine cette coupe au microscope, on voit que toutes les fibres nerveuses de la substance blanche ont les mêmes caractères. Morphologiquement, il n'y a pas de différence entre les fibres du cordon postérieur et celles du cordon antéro-latéral, si ce n'est peut-être que les fibres grêles prédominent dans le cordon postérieur. Et cependant nous savons que physiologiquement il existe dans la moelle des fibres sensitives et des fibres motrices. Où se trouvent les fibres sensitives, où se trouvent les fibres motrices?

Pour déterminer la place exacte occupée par ces faisceaux de fibres physiologiquement différentes, on a eu recours surtout à l'étude des dégénérescences secondaires. Vous le savez, quand on sépare une fibre nerveuse de sa cellule d'origine, cette fibre dégénère à son bout périphérique. Si une section ou une lésion interrompt, en un point quelconque de la moelle, toutes les fibres de la substance blanche, celles de ces fibres qui ont leur cellule d'origine en dessous du point lésé présenteront une dégénérescence ascendante, tandis que les fibres qui proviennent de cellules placées au-dessus du point lésé présenteront la dégénérescence descendante. En étudiant ces dégénérescences on a trouvé qu'il existe dans la moelle deux faisceaux de fibres nerveuses qui, une fois sectionnées, dégénèrent toujours vers le bas. L'un de ces faisceaux occupe le cordon latéral : c'est le *faisceau pyramidal du cordon latéral*, fig. 1, *d;* l'autre occupe le cordon antérieur : *faisceau de Türk* ou *faisceau pyramidal du cordon antérieur*, fig. 1, *e*. Le premier renferme des fibres directes, le second des

fibres entrecroisées. On suppose que ces faisceaux renferment la plupart des fibres motrices.

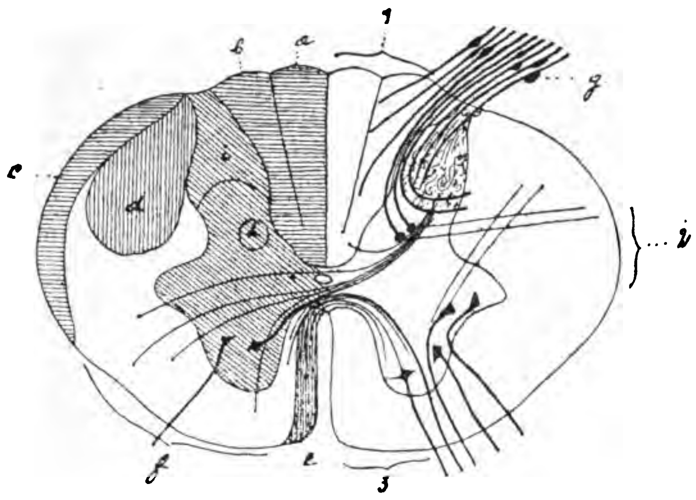


FIG. 1. — Schéma d'une coupe transversale de la moelle épinière montrant le trajet des fibres des racines antérieures et des racines postérieures des nerfs périphériques (d'après EDINGER). 1 Cordon postérieur; 2 cordon latéral; 3 cordon antérieur; a cordon de Goll; b cordon de Burdach; c faisceau cérébelleux du cordon latéral; d faisceau pyramidal du cordon latéral; e faisceau pyramidal du cordon antérieur; f faisceau fondamental du cordon antéro-latéral; g ganglion spinal; h colonne de Clarke; i substance gélatineuse de Rolando.

Les fibres qui, une fois interrompues dans un point quelconque de la moelle, présentent la dégénérescence secondaire ascendante, existent dans tout le cordon postérieur, dans le *faisceau cérébelleux du cordon latéral*, fig. 1, *c*, et, d'après Edinger, en partie dans le faisceau fondamental du cordon antéro-latéral. On suppose que ce sont là des fibres sensitives.

Le reste de la substance blanche, c'est-à-dire la plus grande partie du *faisceau fondamental du cordon antéro-latéral*, fig. 1, *f*, ne renfermerait que des voies courtes, c'est-à-dire des fibres nerveuses destinées à

relier entre elles des cellules nerveuses de la moelle placées à des niveaux très-rapprochés.

Ces faits de dégénérescence secondaire ascendante et descendante sont établis par des expériences physiologiques et des observations cliniques; ils sont irréfutables.

Mais d'où viennent les fibres de ces différents faisceaux? Quelles sont leurs relations avec les nerfs périphériques et avec les cellules nerveuses de la substance grise? Ici nous entrons tout à fait dans le domaine de l'hypothèse. Voici ce qu'on admet généralement. Vous savez que les nerfs spinaux sont des nerfs mixtes, ils renferment à la fois des fibres motrices et des fibres sensitives. Arrivées près de la moelle, ces fibres se séparent : toutes les fibres motrices entrent dans les racines antérieures et toutes les fibres sensitives dans les racines postérieures.

Les fibres des racines antérieures traversent la substance blanche, pénètrent dans la substance grise. Là, les unes se continuent directement avec les cellules nerveuses de la corne antérieure et, par l'intermédiaire de ces cellules, se rendent ou dans la pyramide latérale du même côté, ou, en passant par la commissure blanche, dans la pyramide antérieure du côté opposé, pour y devenir fibres longitudinales et aller au cerveau; les autres traversent seulement la corne antérieure, passent par la commissure blanche et se terminent dans une cellule nerveuse de la corne antérieure du côté opposé (fig. 1).

Les fibres des racines postérieures ont un trajet plus compliqué. Elles traversent d'abord le ganglion spinal. Ce ganglion renferme des cellules nerveuses. Pour savoir comment les fibres se comportent dans ce ganglion, on

a sectionné les racines postérieures en dehors et en dedans du ganglion. On a trouvé que si la section se pratique en dehors du ganglion, toutes les fibres nerveuses périphériques dégénèrent; la section a donc séparé toutes ces fibres de leur cellule d'origine. Si, au contraire, on sectionne la racine postérieure entre le ganglion spinal et la moelle épinière on ne trouve plus dans le nerf périphérique que quelques fibres en dégénérescence. On en a conclu que parmi les fibres des racines postérieures les unes avaient leur cellule d'origine dans le ganglion spinal, d'où partait alors de nouvelles fibres pour entrer dans la moelle, et que les autres, en petit nombre, provenaient directement de la moelle elle-même.

Arrivées à la moelle, les fibres des racines postérieures se divisent en deux groupes : un groupe interne et un groupe externe. Les fibres du groupe interne se rendent directement dans le cordon postérieur où elles deviennent fibres longitudinales; quelques-unes d'entre elles, celles précisément qui n'ont pas leur cellule d'origine dans le ganglion spinal, arrivent dans la colonne de Clarke et s'y continuent avec une cellule nerveuse. De celle-ci part alors une nouvelle fibre qui traverse la substance grise de la corne postérieure, pour devenir fibre longitudinale du faisceau cérébelleux du cordon latéral (fig. 1).

Les fibres du groupe externe traversent la substance gélatineuse de Rolando, et se terminent dans la substance grise d'une façon inconnue, peut-être dans un plexus d'où partent alors, d'après Edinger, de nouvelles fibres nerveuses qui, en passant par la commissure grise, se rendent dans le cordon antéro-latéral du côté opposé.

Si cette structure de la moelle épinière est conforme à la réalité, les éléments nerveux moteurs sont sans relation aucune avec les éléments nerveux sensitifs, et, dans ce cas, le mécanisme des phénomènes réflexes nous échappe entièrement.

Les auteurs ont alors admis l'existence, au sein de la substance grise, d'un réseau nerveux continu formé de fibrilles nerveuses très grêles et dépourvues de myéline, dans lequel se perdraient les prolongements protoplasmatiques des cellules nerveuses. De plus ce réseau donnerait lui-même naissance directement aux fibres nerveuses sensitives (fig. 2A). Ce réseau nerveux de Gerlach

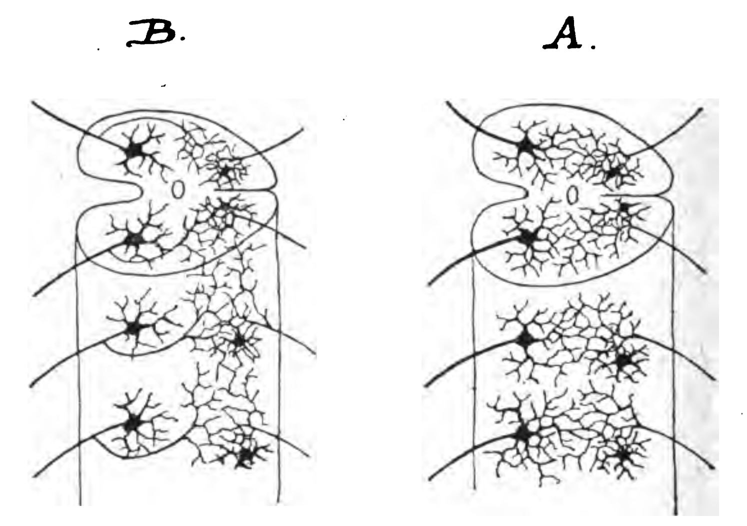


FIG. 2. — Figures schématiques montrant le mode d'union des fibres sensitives et des fibres motrices. *A* d'après GERLACH; *B* d'aprés GOLGI.

faisait disparaître toutes les difficultés, malheureusement son existence ne reposait sur aucun fait positif.

En 1873, un savant italien très distingué, Golgi, professeur à l'Université de Pavie, fit connaître une méthode

toute spéciale permettant de mettre en évidence, avec la plus grande netteté, les cellules nerveuses avec tous leurs prolongements, protoplasmatiques et cylindraxil. Cette méthode consiste à traiter successivement des parties du système nerveux central par du bichromate de potasse ou du sublimé corrosif et une solution de nitrate d'argent. Le chromate d'argent ou le chlorure d'argent se précipite, et les éléments constitutifs du tissu nerveux, jouissant de la propriété de fixer ces sels d'argent, apparaissent colorés en noir.

A l'aide de sa méthode, Golgi prouva plusieurs faits importants :

1° Toute cellule nerveuse possède un prolongement cylindraxil qui permet de la distinguer facilement des éléments voisins.

2° Les prolongements protoplasmatiques des cellules nerveuses se terminent librement, soit dans la substance grise, soit dans la substance blanche. Ainsi, les cellules nerveuses ne s'anastomosent jamais, ni avec les prolongements protoplasmatiques des cellules voisines, ni avec les éléments d'un réseau nerveux.

3° Contrairement aux idées reçues, le prolongement cylindraxil émet des branches collatérales qui se perdent dans la substance grise.

4° Le prolongement cylindraxil peut se comporter de deux façons différentes : ou bien il conserve son individualité sur une étendue très considérable, tout en émettant quelques branches collatérales (fig. 4); ou bien à une petite distance du corps cellulaire il se divise et se subdivise à l'infini (fig. 3), et va prendre part à la formation d'un réseau nerveux diffus, dont Golgi admet l'existence dans toute la substance grise.

Les cellules à cylindre-axe long prédominent surtout dans la corne antérieure, les cellules à cylindre-axe court

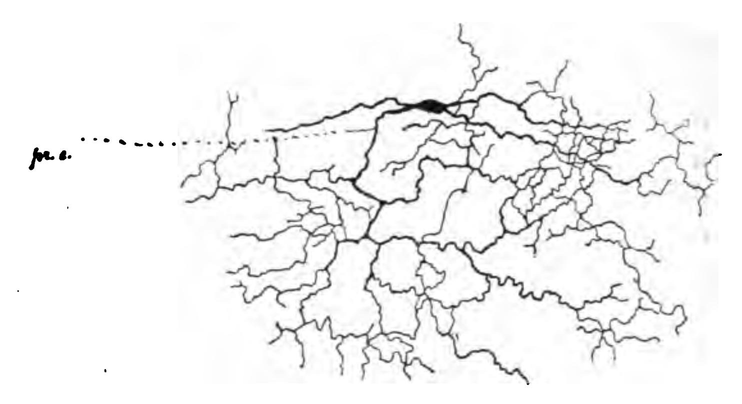


Fig. 3. — Cellule nerveuse à cylindre-axe *court* provenant du bulbe olfactif d'un chien de 9 jours.

sont très nombreuses dans la corne postérieure. Comme la corne antérieure est en rapport immédiat avec les racines motrices et la corne postérieure avec les racines sensitives, Golgi crut avoir trouvé un caractère morphologique permettant de distinguer une cellule motrice d'une cellule sensitive. Toute cellule nerveuse ayant un cylindre-axe long serait une cellule motrice, toute cellule nerveuse ayant un cylindre-axe court serait une cellule sensitive.

Une différence analogue existerait entre les fibres motrices et les fibres sensitives : les fibres motrices proviendraient directement des cellules motrices dont elles ne représentent que le prolongement cylindraxil ; tandis que les fibres sensitives proviendraient, par un grand nombre de ramifications, non pas des cellules nerveuses de la corne postérieure, mais du réseau nerveux diffus.

Le jeu des phénomènes réflexes, la relation directe entre les fibres sensitives et les fibres motrices s'expli-

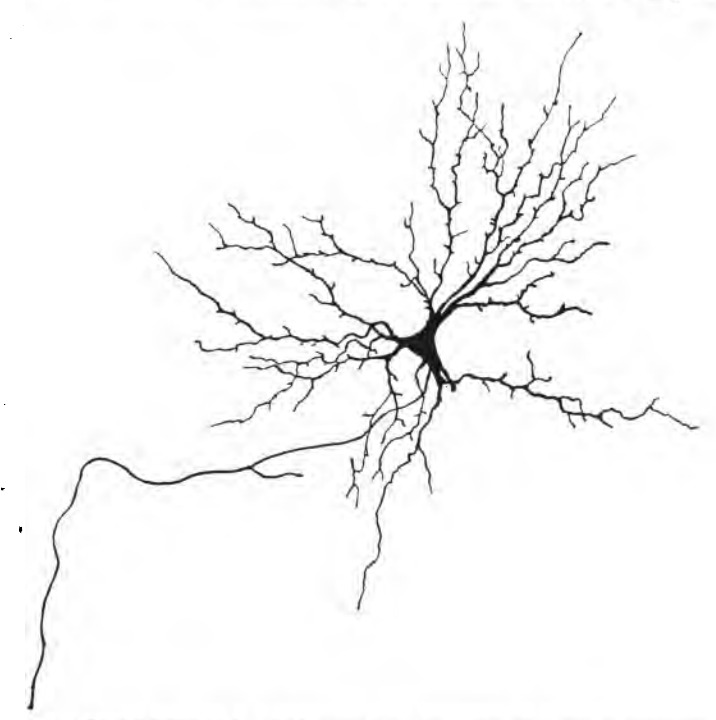


Fig. 4 — Cellule nerveuse à cylindre-axe long provenant de la moelle lombaire d'un embryon de vache de 55 centimètres.

querait par la présence des branches collatérales du cylindre-axe des cellules motrices, qui prennent part aussi à la formation du réseau nerveux (fig. 2 B).

La méthode de Golgi fut appliquée, il y a environ trois ans, à l'étude de la structure interne du système nerveux embryonnaire, et donna, entre les mains d'un savant espagnol du plus grand mérite, Ramón y Cajal, des résultats qui ont dépassé toutes les espérances.

Pour prévenir tout scepticisme de votre part, Messieurs, j'ajouterai que tous les faits signalés par Ramón y Cajal, quelque surprenants qu'ils puissent paraître au premier abord, ont été confirmés pleinement par Kölliker, le savant histologiste de Würzbourg. En appliquant la méthode de Golgi d'après les prescriptions de Ramón y Cajal, nous avons pu vérifier nous-même toutes les découvertes du professeur de Barcelone. En examinant les préparations exposées à ces microscopes, il vous sera facile de vous convaincre par vous-même de la réalité de tous les faits que je vais alléguer.

Reprenons maintenant la structure de la moelle, et commençons par la substance blanche. Nous avons dit tantôt qu'un des points les plus controversés et les plus hypothétiques de la structure de la moelle épinière, était l'origine des fibres nerveuses de la substance blanche. Les découvertes de Golgi et de Ramón y Cajal ont aplani toutes les difficultés.

Les fibres nerveuses de la racine antérieure, après avoir traversé la substance blanche, arrivent à la substance grise, et là, toutes ces fibres, quelque nombreuses qu'elles soient, sont toutes en relation avec des cellules nerveuses de la corne antérieure. En d'autres termes, toutes les fibres nerveuses des racines antérieures ne sont que les prolongements cylindraxils des cellules nerveuses éparpillées dans la corne antérieure. On appelle ces cellules : *cellules radiculaires*. Vous verrez à un des microscopes (fig. 5) deux cellules radiculaires de la moelle d'un embryon de poulet au huitième jour d'incubation; le prolongement cylindraxil de chacune de ces cellules peut se poursuivre très loin dans la racine antérieure. Chez l'adulte ces cellules radiculaires ont une forme

spéciale. On en trouve de toutes les grandeurs. Les plus volumineuses sont excessivement riches en prolongements protoplasmatiques.

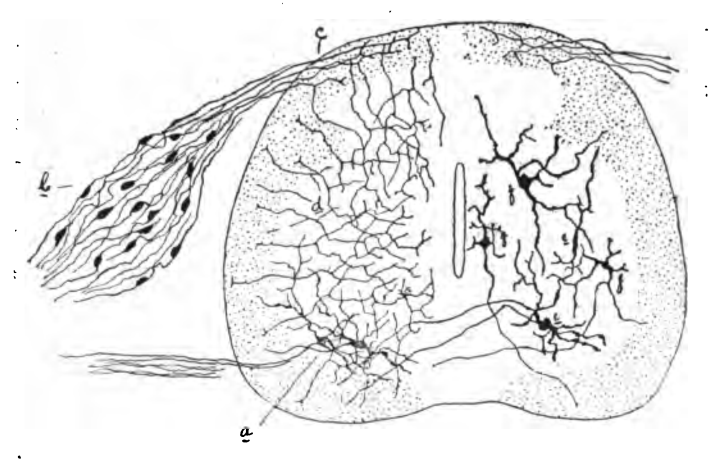


FIG. 5. — Coupe transversale d'une moelle embryonnaire de poulet au 8e jour d'incubation. *a* deux cellules radiculaires dont le prolongement cylindraxil devient fibre constitutive de la racine antérieure; *b* ganglion spinal; *c* les fibres des racines postérieures se bifurquent; *d* collatérales des fibres des différents cordons; *e* cellules commissurales; *f* cellules des cordons.

Ramón y Cajal distingue sur ces cellules radiculaires trois groupes de prolongements protoplasmatiques :

1° Un groupe interne. Ces prolongements finissent par de véritables touffes terminales qui, lorsque la cellule est plus ou moins rapprochée de la ligne médiane, passent entre les fibres du cordon antérieur, s'entrecroisent dans la commissure antérieure avec ceux du côté opposé, en formant là une véritable commissure protoplasmatique, et peuvent s'étendre jusque dans la substance grise du côté opposé. Cependant, quand la cellule occupe les parties latérales de la corne antérieure, les prolongements du groupe interne n'atteignent pas la commissure;

2° Un groupe antéro-externe. Ces prolongements se

terminent de la même façon par des touffes qui se perdent entre les fibres du cordon antéro-latéral. Du milieu de ces prolongements sort le plus souvent le prolongement cylindraxil;

3° Un groupe antéro-postérieur. Ces prolongements sont très longs et épais, et se terminent librement dans la substance grise, sans présenter les touffes terminales caractéristiques des prolongements internes et antéro-externes.

La cellule radiculaire que vous verrez à un de ces microscopes (fig. 6) provient d'une des préparations que

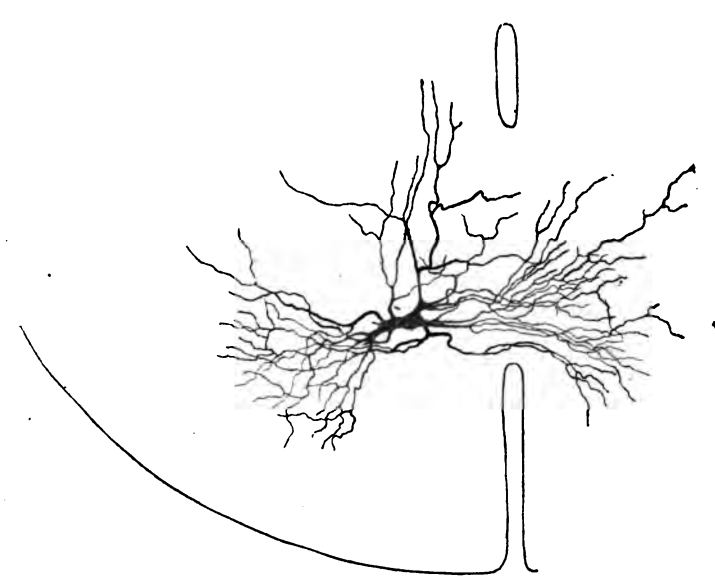


FIG. 6. — Cellule radiculaire de moelle dorsale d'un chien nouveau-né (préparation de RAMÓN Y CAJAL).

Ramón y Cajal a bien voulu nous envoyer. C'est une cellule radiculaire de la moelle dorsale d'un chien nouveau-né.

Avant de quitter les cellules radiculaires, notons encore que le prolongement cylindraxil, qui va devenir la fibre nerveuse périphérique, émet quelquefois des branches collatérales qui retournent dans la substance grise. Golgi pense que c'est là un fait général. Sur de nombreuses préparations, Ramón y Cajal n'a vu ces branches collatérales du prolongement cylindraxil des cellules radiculaires que cinq ou six fois.

Prenons maintenant les racines postérieures.

Les fibres des racines postérieures traversent le ganglion spinal. Ramón y Cajal a confirmé par l'observation directe que, dans la moelle embryonnaire du poulet, la plupart des fibres des racines postérieures sont interrompues dans ce ganglion par une cellule bipolaire. Quelques fibres seulement traversent le ganglion et se rendent directement à la moelle (fig. 5).

Arrivées dans la substance blanche, les fibres des racines postérieures qui ont été interrompues par une cellule du ganglion spinal entrent dans le cordon postérieur. Là, toutes se bifurquent et donnent naissance à une branche ascendante et à une branche descendante (fig. 7), qui vont devenir fibres constitutives du cordon postérieur. Et, chose remarquable, dans leur trajet le long de la moelle épinière, toutes ces fibres donnent, à des distances variables, de fines branches collatérales qui se dirigent horizontalement en avant, traversent la substance gélatineuse de Rolando et se terminent par des arborisations *libres* dans un point quelconque de la substance grise. Ramón y Cajal a constaté ce fait, et, comme Kölliker, nous avons pu le vérifier, à savoir que même avant de se bifurquer les fibres des racines postérieures émettent déjà des branches collatérales.

Comment se terminent ces fibres ascendantes et descendantes? Les branches descendantes, après un trajet

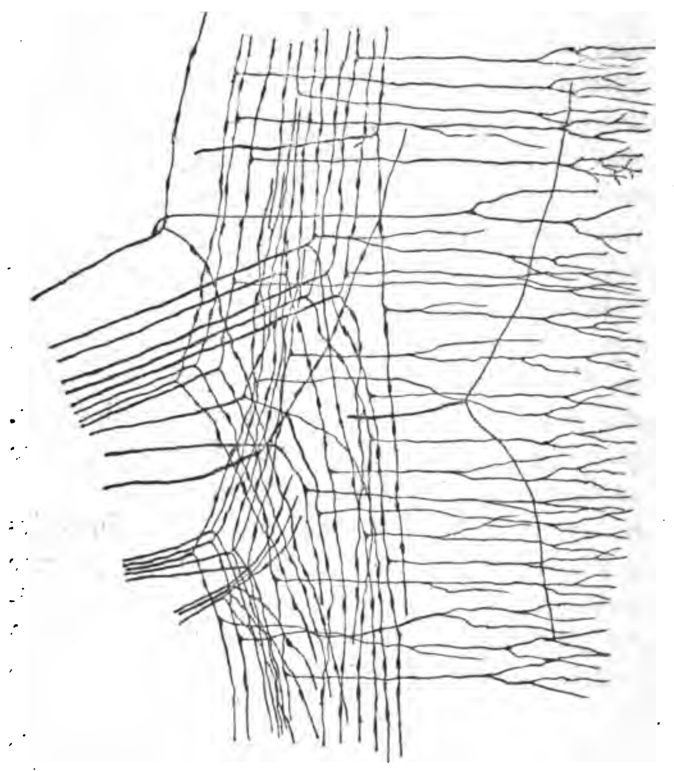


Fig. 7 — Entrée des racines postérieures dans la moelle d'un embryon de vache de 55 centimètres.

d'une longueur variable, se recourbent et se terminent librement dans la substance grise comme une branche collatérale. Les branches ascendantes peuvent se comporter de deux façons. Tantôt, après un trajet variable, elles se recourbent à angle droit pour se terminer librement dans la substance grise. Tantôt elles restent comme élément constitutif du cordon postérieur pour

finir... où?... Je ne saurais vous le dire. Peut-être librement dans la substance grise qui forme le noyau du cordon de Goll et le noyau du cordon de Burdach au commencement de la moelle allongée. Jusqu'ici on n'a pu suivre ces fibres ascendantes chez l'embryon que sur une longueur de quelques millimètres seulement, qui correspondrait chez l'adulte tout au plus à une longueur de 6 à 7 centimètres (Ramón y Cajal et Kölliker).

Quant aux fibres des racines postérieures qui traversent le ganglion spinal sans relation aucune avec les cellules nerveuses, Ramón y Cajal soupçonne que, sans se bifurquer, elles traversent d'arrière en avant la substance grise, et que leur cellule d'origine se trouve dans la corne antérieure. V. Lenhossek prétend avoir observé ce fait directement sur une moelle embryonnaire du poulet au cinquième jour d'incubation. Si cette observation se confirme, on devra admettre dans la racine postérieure, comme le remarque Kölliker, l'existence d'éléments nerveux à conduction centrifuge.

Les fibres du cordon postérieur ont donc une origine parfaitement connue. Nous pouvons nous demander maintenant d'où viennent les fibres du cordon antéro-latéral? Pour répondre à cette question, nous devons examiner la substance grise.

Vous savez que l'on distingue dans la substance grise de la moelle la substance gélatineuse et la substance spongieuse. La substance gélatineuse se trouve à l'entour du canal central, où elle forme *la substance gélatineuse centrale*, et en arrière de la corne postérieure, où elle prend le nom de *substance gélatineuse de Rolando*. Tout le reste de la substance grise est de la substance spongieuse.

Celle-ci renferme un grand nombre de cellules nerveuses. D'après les résultats fournis par la méthode de Golgi, on peut y distinguer deux espèces de cellules nerveuses.

1° Des cellules nerveuses dont le cylindre-axe perd son individualité à une petite distance du corps cellulaire, en se divisant et se subdivisant à l'infini (fig. 3).

2° Des cellules nerveuses dont le cylindre-axe conserve son individualité sur une étendue assez considérable (fig. 4). Ces cellules se subdivisent elles-mêmes en :

Cellules radiculaires que nous connaissons déjà ; elles donnent naissance aux fibres des racines motrices et elles occupent la corne antérieure (fig. 5 et 6) ; et

Cellules des cordons. Celles-ci sont des cellules nerveuses que l'on trouve dans toutes les régions de la substance grise, et dont le prolongement cylindraxil va devenir une fibre constitutive du cordon antéro-latéral. Ce prolongement cylindraxil peut se rendre dans le cordon antéro-latéral du même côté, ou bien dans le cordon antérieur du côté opposé. Dans ce dernier cas, il passe par la commissure antérieure, et la cellule dont il provient prend le nom de *cellule commissurale.* En traversant la substance grise, la plupart des prolongements cylindraxils des cellules des cordons émettent encore quelques branches collatérales.

Arrivé dans le cordon antéro-latéral, le prolongement nerveux peut se comporter de plusieurs façons : ou bien il se recourbe simplement et devient fibre ascendante, ou bien il se bifurque en une branche ascendante et une branche descendante, ou bien encore il se divise en deux ou trois branches terminales qui deviennent toutes fibres constitutives du cordon correspondant.

Quelquefois même cette division se fait dans la substance grise; l'une des branches peut alors devenir fibre longitudinale du cordon antéro-latéral du même côté, l'autre peut passer par la commissure et se rendre dans le cordon antérieur du côté opposé. Quelle que soit la façon dont le prolongement cylindraxil se comporte, une chose est certaine : il va devenir fibre longitudinale du cordon antéro-latéral. Toutes ces fibres qui proviennent des cellules des cordons, en montant ou en descendant dans la moelle, se comportent comme les fibres du cordon postérieur (fig. 7), c'est-à-dire qu'à des distances variables elles émettent des branches collatérales qui entrent dans la substance grise et s'y terminent librement.

Cependant toutes les fibres du cordon antéro-latéral ne prennent pas leur origine dans la substance grise de la moelle épinière. Nous savons qu'on y trouve encore des fibres qui viennent des centres plus élevés, notamment celles qui ne sont que les prolongements cylindraxils des cellules pyramidales motrices de la couche corticale grise, et qui occupent probablement dans la moelle le faisceau pyramidal du cordon latéral et le faisceau pyramidal du cordon antérieur. Ces fibres en descendant le long de la moelle épinière émettent aussi des branches collatérales et se terminent elles-mêmes librement dans la substance grise.

Des collatérales rayonnent donc dans la substance grise de tous les points de la substance blanche, et, chose importante, toutes ces collatérales se divisent et se subdivisent pour se terminer librement. Ces fines fibrilles nerveuses entremêlées forment dans la substance grise un plexus inextricable (fig. 8).

Les collatérales du cordon antérieur se rendent dans la corne antérieure du même côté, ou bien passent par la

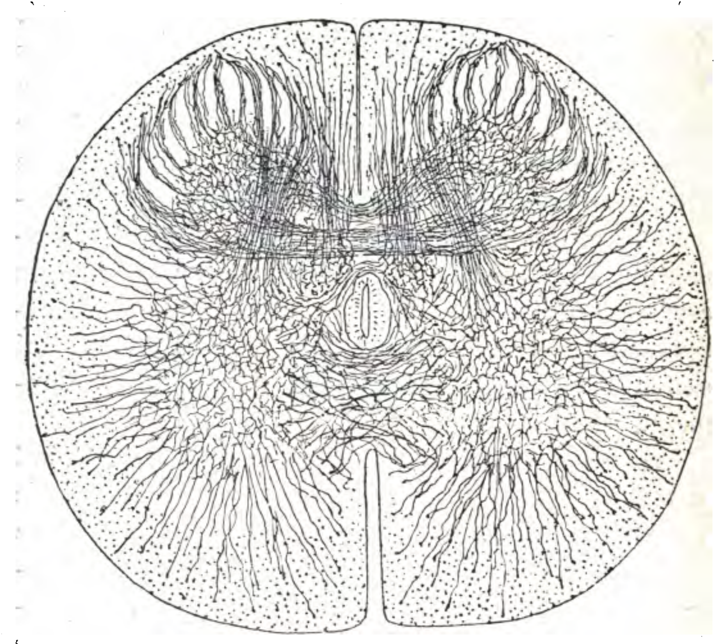


Fig. 8. — Coupe transversale de la moelle d'un chien nouveau-né montrant la disposition générale des collatérales des différents cordons (d'après Ramón y Cajal).

commissure antérieure pour se terminer dans la corne antérieure du côté opposé.

Les collatérales du cordon latéral se rendent dans toutes les régions de la substance grise ; quelques-unes passent même par la commissure postérieure pour se terminer du côté opposé.

Les collatérales du cordon postérieur se terminent dans la substance gélatineuse de Rolando, ou dans la corne postérieure, ou aussi dans la colonne de Clarke et même jusque dans la corne antérieure (collatérales sen-

sitivo-motrices de Ramón y Cajal). Quelques-unes s'entrecroisent dans la commissure postérieure.

Partout où l'on trouve un amas de cellules nerveuses il existe un nombre considérable de branches collatérales qui viennent envelopper, par leurs arborisations terminales, le corps des cellules nerveuses.

Les cellules nerveuses de la moelle, et ce qui est vrai pour la moelle est vrai aussi pour tout l'axe cérébro-spinal, les cellules nerveuses de la moelle ne s'anastomosent donc pas entre elles par leurs prolongements protoplasmatiques; elles ne prennent pas part non plus à la formation d'un réseau nerveux quelconque ni par leurs prolongements protoplasmatiques, ni par leur prolongement cylindraxil. Mais toute cellule nerveuse avec tous ses prolongements forme un élément indépendant, un tout autonome, une espèce d'unité nerveuse.

C'est là un fait de la plus haute importance.

Quand on recherche dans les livres classiques quels sont les éléments constitutifs du tissu nerveux, on parle toujours de cellules nerveuses et de fibres nerveuses comme de deux choses absolument distinctes et tout à fait indépendantes. Cela est tellement vrai que, pendant de longues années, les auteurs se sont efforcés de rechercher le mode d'union et le mode d'action des fibres nerveuses et des cellules nerveuses. Or, il résulte clairement des faits que je viens d'exposer devant vous, que les fibres nerveuses et les cellules nerveuses ne sont pas des éléments distincts : la fibre nerveuse considérée en elle-même n'est pas un élément nerveux, pas plus que les prolongements protoplasmatiques des cellules nerveuses : elle n'est, au moins dans sa partie essentielle, qu'un prolongement cylindraxil. La cellule ner-

veuse en elle-même n'est pas non plus un élément nerveux, on ne peut la séparer ni de ses prolongements protoplasmatiques ni de son prolongement cylindraxil. Le seul et unique élément nerveux, c'est la cellule nerveuse avec tous ses prolongements.

Les éléments nerveux, ainsi compris, varient à l'infini et dans leur forme, et dans leur volume, et dans la disposition et la richesse des prolongements protoplasmatiques; un seul de leurs caractères semble constant et permet de distinguer un élément nerveux de tout autre élément : c'est l'existence d'un prolongement cylindraxil.

Ce prolongement cylindraxil se comporte partout de la même façon : il finit librement par une ou plusieurs branches terminales. Mais ici, encore une fois, on trouve la plus grande variété dans les détails. Il y a des cellules nerveuses dont le prolongement cylindraxil est court et se termine tout près du corps cellulaire; il y en a d'autres dont le prolongement cylindraxil s'étend sur une longueur considérable : tel, par exemple, le prolongement cylindraxil d'une cellule radiculaire, qui s'étend depuis la substance grise de la moelle jusqu'au muscle périphérique; mais cette distinction morphologique n'est pas suffisamment tranchée pour y voir, avec Golgi, la marque d'une distinction physiologique; ce ne sont là que deux formes extrêmes entre lesquelles on trouve toute une série de formes intermédiaires.

Tout le système nerveux central se réduit donc, en dernière analyse, à une superposition d'éléments nerveux indépendants les uns des autres. Parmi les éléments nerveux à cylindre-axe long on peut facilement distinguer deux types, qui frappent au premier abord.

Les uns présentent leur corps cellulaire dans les par-

ties supérieures de l'axe cérébro-spinal, tandis que leur prolongement cylindraxil descend pour se terminer librement plus bas. Les autres ont leur corps cellulaire dans les régions inférieures du système nerveux central, tandis que leur prolongement cylindraxil, se dirigeant en sens inverse des premiers, va se terminer librement dans des centres plus élevés. Au premier groupe appartiennent, par exemple, les cellules pyramidales de la couche corticale grise du cerveau, dont les prolongements cylindraxils vont constituer les voies pyramidales et se terminer librement à un point quelconque de l'axe cérébro-spinal; ou encore les cellules radiculaires de la corne antérieure de la moelle, dont les prolongements cylindraxils se rendent aux organes périphériques. Dans ces éléments nerveux la conduction est nécessairement *centrifuge*.

Dans le second groupe se rangent, sans aucun doute, un certain nombre de *cellules des cordons* dont le prolongement cylindraxil, arrivé dans le cordon antérolatéral, se recourbe pour devenir fibre ascendante. On peut y faire rentrer aussi les éléments nerveux dont les prolongements cylindraxils forment les racines postérieures. Chez les oiseaux, le ganglion spinal est formé d'éléments bipolaires ayant un prolongement cylindraxil périphérique et un prolongement cylindraxil central. Chez les mammifères, d'après les observations récentes de Ramón y Cajal, auxquelles nous pouvons ajouter les nôtres, les éléments nerveux du ganglion spinal ont un seul prolongement cylindraxil qui, à une certaine distance du corps cellulaire, se bifurque en donnant un prolongement périphérique et un prolongement central. Dans les deux cas, le prolongement central

se termine librement dans la substance grise de la moelle. La conduction y est *centripète*, aussi bien que dans le prolongement cylindraxil périphérique. Les éléments nerveux sensoriels font également partie de ce groupe : telles sont les cellules bipolaires de la muqueuse olfactive dont la nature nerveuse a été démontrée, à l'aide de la méthode de Golgi, par les observations de Grassi et Castronovo, de Ramón y Cajal et les nôtres : le prolongement cylindraxil de ces cellules nerveuses se termine librement dans le glomérule olfactif; telles sont encore les cellules ganglionnaires de la rétine dont le prolongement nerveux, chez les oiseaux, se termine librement dans les couches optiques (Ramón y Cajal). Dans tous ces éléments la conduction est *centripète.*

Cependant tous les éléments nerveux ne peuvent être classés dans ces deux catégories. Il existe, en effet, dans toute la longueur de la moelle, des éléments nerveux (beaucoup de cellules des cordons) dont la cellule est située dans la substance grise de la moelle, et dont le prolongement cylindraxil se divise dans la substance blanche en une branche ascendante et une branche descendante. L'excitation partant du corps cellulaire, la conduction est nécessairement *centripète* dans la branche ascendante et *centrifuge* dans la branche descendante. S'il est vrai que les éléments nerveux à conduction centrifuge sont des éléments *moteurs*, et ceux où la conduction est centripète, des éléments *sensitifs*, les éléments de la moelle qui nous occupent pour le moment sont nécessairement des éléments mixtes, ni exclusivement moteurs, ni exclusivement sensitifs.

Ils forment peut-être les voies courtes, dont on admet

l'existence dans la moelle, qui serviraient uniquement à relier les uns aux autres des éléments nerveux placés à des niveaux différents, et cela aussi bien pour la conduction de la sensibilité que pour la transmission de l'incitation motrice.

Ce sont là des questions difficiles auxquelles l'état actuel de nos connaissances ne nous permet encore de répondre que par de pures hypothèses. Ce qui, à nos yeux, semble ressortir, en toute évidence, des notions récemment acquises sur la structure des centres nerveux, c'est que, conformément aux idées déjà admises en physiologie, le prolongement cylindraxil d'un élément nerveux est un conducteur indifférent, portant l'excitation dans n'importe quel sens, et la transmettant aux éléments nerveux avec lesquels il arrive en contact. Les éléments sensitifs n'ont pas la conduction exclusivement centripète, comme les éléments moteurs n'ont pas la conduction exclusivement centrifuge; mais la conduction centrifuge existe dans certaines parties de l'élément sensitif, comme la conduction centripète s'effectue dans certaines parties de l'élément considéré comme moteur. Ainsi les fibres des racines postérieures sont manifestement *sensitives;* à leur entrée dans la moelle elle se divisent en une branche ascendante à conduction centripète et une branche descendante à conduction centrifuge. Les fibres des racines antérieures sont manifestement *motrices;* la conduction nerveuse y est toujours centrifuge. Avant de sortir de la moelle, elles émettent cependant parfois des branches collatérales qui rentrent dans la substance grise et où par conséquent la conduction est centripète.

Les éléments nerveux sont donc réellement des élé-

ments indépendants. S'il en est ainsi, comment agissent-ils les uns sur les autres et comment, avec une pareille structure des centres nerveux, peut-on se rendre compte des phénomènes physiologiques les plus simples, tels qu'un mouvement volontaire ou un mouvement réflexe?

Il y a trois ou quatre ans on admettait encore généralement la continuité directe et absolue des routes nerveuses depuis leur origine dans les centres supérieurs jusqu'à leur terminaison dans les organes périphériques. His, le premier, a battu en brèche cette manière de voir. Il a été suivi par Forel, Ramón y Cajal et Kölliker. Les faits révélés par la méthode de Golgi ne laissent plus de place qu'à une seule hypothèse : la transmission nerveuse ne se fait pas par continuité, mais simplement par contiguité ou par contact.

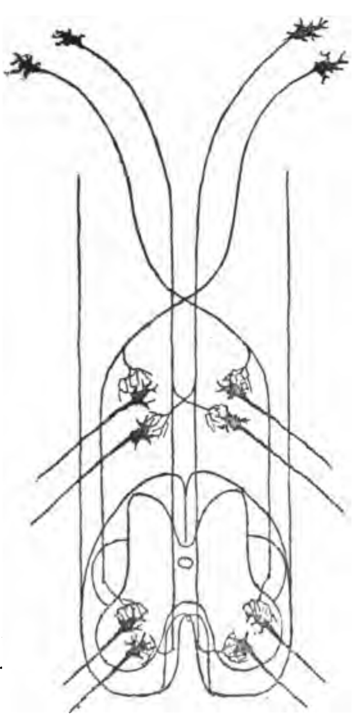


Fig. 9. — Schéma pour le mouvement volontaire.

Voici comment on peut se représenter le mécanisme suivant lequel se produit un mouvement volontaire et celui qui préside aux phénomènes réflexes.

Pour produire un mouvement volontaire (fig. 9), une incitation motrice part d'une des cellules nerveuses de la couche corticale grise

et est transmise directement jusque dans la moelle par le prolongement cylindraxil. Par les branches collatérales qu'il émet le long de la moelle épinière et par ses branches terminales, ce prolongement cylindraxil enveloppe le corps des cellules nerveuses radiculaires, transmet par contact l'ébranlement nerveux à ces cellules motrices qui le conduisent directement jusque dans le muscle périphérique. Une seule cellule de la couche corticale grise est ainsi en relation médiate avec plusieurs cellules des centres inférieurs.

Les mouvements réflexes se comprennent aussi avec une extrême facilité : quand une excitation périphérique a ébranlé une fibre nerveuse sensitive, cette excitation est transmise jusque dans la moelle, et là, si l'excitation est faible, elle se transmet par les premières collatérales aux cellules radiculaires voisines (fig. 10 A). Si l'excita-

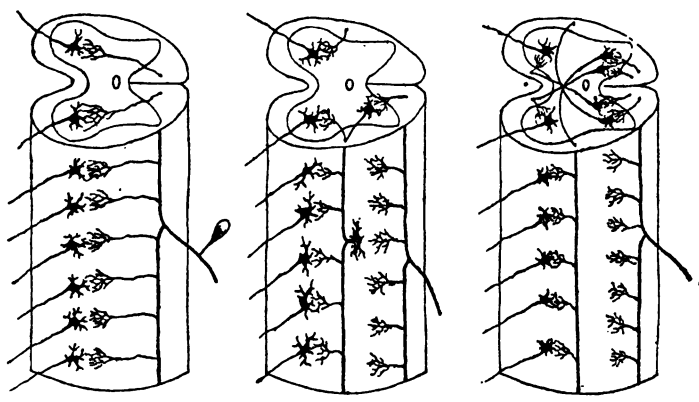


Fig. 10. — Figures schématiques montrant le mécanisme suivant lequel on peut expliquer les phénomènes réflexes

tion est un peu plus forte, elle passe à travers toute la fibre sensitive et à travers toutes ses collatérales. Celles-ci la transmettent : ou bien directement et par

contact aux cellules radiculaires; ou bien à une ou plusieurs cellules des cordons qui la portent alors aux cellules radiculaires sur une étendue plus ou moins grande de la moelle (fig. 10 B); ou bien encore, des collatérales des fibres sensitives l'excitation est transmise par contact à une ou plusieurs cellules commissurales et, par cette voie, aux cellules radiculaires de la corne antérieure du côté opposé de la moelle (fig. 10 C). Ajoutez à tout cela que des collatérales des fibres du cordon antérieur passent la commissure blanche pour se terminer dans la substance grise de l'autre moitié de la moelle, et qu'il en est de même pour des collatérales du cordon latéral et du cordon postérieur qui prennent part à la formation de la commissure postérieure, et vous pourrez vous faire une faible idée de la complexité des voies par où peuvent se faire les transmissions nerveuses.

En dehors de la substance spongieuse on trouve encore dans la substance grise de la moelle la *substance gélatineuse centrale* et la *substance gélatineuse de Rolando.*

La *substance gélatineuse centrale* entoure le canal central; ce canal lui-même est tapissé par un épithélium cylindrique. La méthode de Golgi nous a révélé que cet épithélium n'est pas formé de simples cellules cylindriques, au moins chez l'embryon et les mammifères nouveau-nés, mais que chacune de ces cellules présente à sa base un prolongement long et grêle qui s'étend plus ou moins loin dans le tissu nerveux. Chez les embryons il traverse même toute l'épaisseur de l'axe cérébro-spinal. Ces cellules sont disposées en forme de rayons étendus depuis le canal central jusqu'à la périphérie. Arrivés

près de la surface, plusieurs de ces prolongements se bifurquent, formant ainsi une espèce de tissu de soutien pour les éléments nerveux (fig. 11). Mais cette disposi-

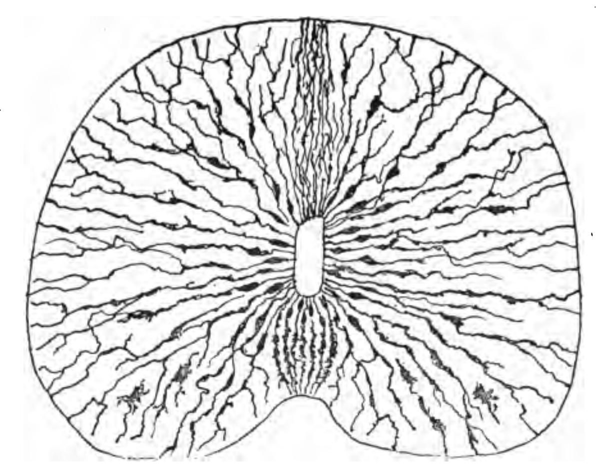


Fig. 11. — Coupe de la moelle dorsale d'un embryon de poulet au 9e jour d'incubation (d'après Ramón y Cajal.)

tion ne semble pas persister chez l'adulte. A l'entour du canal central on trouve encore comme éléments constitutifs de la substance gélatineuse centrale, des cellules de neuroglie et de petites cellules nerveuses.

La *substance gélatineuse de Rolando* entoure la corne postérieure. On y a signalé depuis longtemps de nombreux éléments cellulaires, mais on est loin d'être d'accord sur leur véritable nature.

La plupart des auteurs les considèrent comme des éléments nerveux. D'autres la disent formée de cellules nerveuses embryonnaires, arrêtées dans leur développement (Corning, Lachi).

Pour Bechterew, elle ne serait qu'une agglomération de cellules conjonctives ou neurogliques. V. Lenhossek

y voit un tissu épithélial ectodermique devant servir de soutien à la moelle. La méthode de Golgi a éclairci tous ses doutes. De toute la substance grise, la substance de Rolando est celle qui se montre la plus riche en éléments nerveux, petits, pourvus de prolongements protoplasmatiques très ramifiés et d'un prolongement cylindraxil qui, conservant son individualité, se rend dans le cordon latéral ou dans la zone marginale de la corne postérieure, ou bien qui perd son individualité et se ramifie suivant un plan vertical. Mais le plexus inextricable formé à ce niveau par les branches collatérales du cordon postérieur et du cordon latéral, ainsi que le grand nombre d'éléments nerveux rendent difficile la poursuite du trajet définitif du prolongement cylindraxil de tous ces éléments.

Voilà, Messieurs, comment nous devons comprendre la structure de la moelle épinière d'après les découvertes de Ramón y Cajal. Comparez cette structure à celle que je vous ai indiquée en commençant et vous verrez que la différence est profonde. Le fait le plus saillant et qui domine tout, c'est sans contredit l'indépendance absolue des éléments nerveux les uns vis-à-vis des autres et la conclusion qui en découle c'est que, contrairement aux idées reçues, la transmission nerveuse se fait par contact.

Il y a huit jours, nous avons eu le plaisir d'entendre dans cette même salle une conférence des plus intéressantes de notre savant collègue, M. le professeur Héger, sur la structure des nerfs périphériques. En se basant sur des observations de M. De Moor, le savant physiologiste de Bruxelles est porté à admettre une interruption dans le cylindre-axe des nerfs périphériques,

et cela au niveau des étranglements de Ranvier.

C'est là une idée nouvelle en opposition avec toutes les idées reçues, et qui, je n'en doute pas, rencontrera beaucoup d'opposition. N'ayant pas fait des recherches spéciales sur ce point, nous ne désirons pas prendre position dans le débat. Nous tenons simplement à faire ressortir que cette interruption dans l'élément conducteur, que M. Héger est disposé à admettre dans les nerfs périphériques, existe dans le système nerveux central; non pas, bien entendu, entre les différents segments d'un même cylindre-axe, mais entre les différents éléments nerveux du système nerveux central.

La méthode de Golgi n'a pas encore été appliquée à l'étude de toutes les parties de l'axe cérébro-spinal. Elle a été essayée par Golgi, Ramón y Cajal et Kölliker pour élucider la structure de la couche corticale grise du cervelet, et, là encore, elle a donné des résultats surprenants. Elle nous a révélé une complexité de structure dont on n'avait pas d'idée. Les recherches que nous avons faites nous même sur la structure de la couche corticale grise du cervelet confirment pleinement tous les faits signalés par Ramón y Cajal et par Kölliker.

Vous voyez ici, Messieurs, (fig. 12), une figure qui représente la couche corticale grise du cervelet, telle qu'on la trouve dessinée dans les traités classiques les plus récents (Schwalbe, Gegenbauer, etc); une figure semblable se trouve dans le livre de Edinger, un des ouvrages les plus recommandables pour l'anatomie des centres nerveux. On distingue dans la substance grise corticale du cervelet deux couches : une couche interne ou *couche granuleuse*, et une couche externe ou *couche*

moléculaire. A la limite de ces deux couches, on trouve une série continue de cellules nerveuses volumineuses décrites pour la première fois par Purkinje en 1837, et appelées depuis *cellules de Purkinje.*

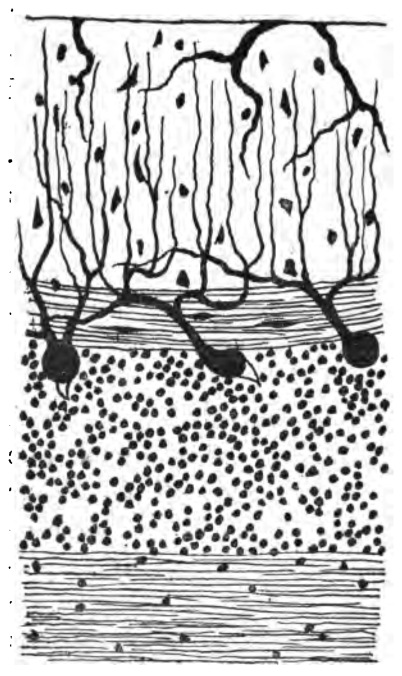


Fig. 12. — Coupe de la couche corticale grise du cervelet (d'après Meynert) telle qu'on la trouve représentée dans les traités classiques (Schwalbe, Gegenbauer, etc.).

Les cellules de Purkinje présentent quelques prolongements protoplasmatiques qui s'étendent jusqu'à la périphérie de la couche moléculaire, et un prolongement central qui s'engage dans la granuleuse.

Golgi, le premier, a montré, grâce à sa méthode, la richesse incomparable des prolongements protoplasmatiques de ces cellules nerveuses, prolongements qui, après s'être divisés et subdivisés, se terminent librement à la périphérie de la couche moléculaire. Du côté de la couche granuleuse, il a mis en évidence le prolongement cylindraxil et montré qu'il devient une fibre constitutive de la substance blanche, émettant quelques branches collatérales qui retournent dans la couche moléculaire (fig. 13 A).

La *couche granuleuse* renferme un grand nombre de noyaux volumineux entourés par une petite zone de pro-

potoplasme. On considérait généralement ces *grains* comme des petites cellules nerveuses bipolaires. La mé-

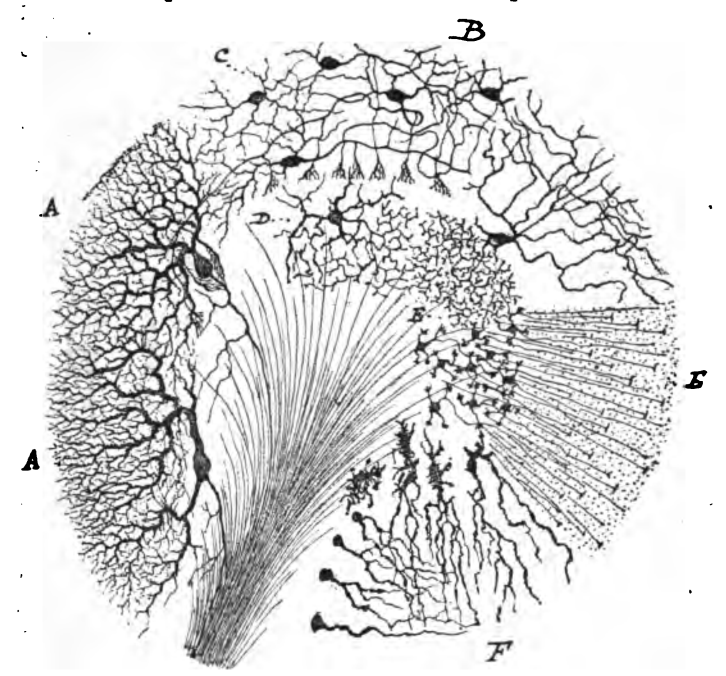


Fig. 13. — Coupe antéro-postérieure du cervelet montrant tous les éléments que l'on trouve dans la couche corticale grise ; *A* deux cellules de Purkinje avec leur prolongement cylindraxil ; *B* grandes cellules étoilées de la couche moléculaire ; *C* petite cellule étoilée de la couche moléculaire ; *D* grande cellule étoilée à cylindre-axe court de la couche granuleuse ; *E* grains ou petites cellules étoilées de la couche granuleuse ; *F* cellules de Neuroglie.

thode de Golgi a montré que dans la couche granuleuse il existe deux espèces de cellules nerveuses.

1° *Les petites cellules de la couche granuleuse* (fig. 13 E). Chaque grain de cette couche représente une cellule nerveuse à corps cellulaire polyédrique, pourvu de 3, 4 ou 5 prolongements protoplasmatiques qui se terminent par une petite touffe de branches et d'un prolongement cylindraxil. Ramón y Cajal a montré

le premier que ce prolongement cylindraxil se dirige verticalement en haut, arrive dans la couche moléculaire où il se divise en deux branches parallèles aux lames et aux lamelles du cervelet et qui, après un trajet variable, se terminent librement (fig. 14).

2° *Les grandes cellules de la couche granuleuse.* Ce

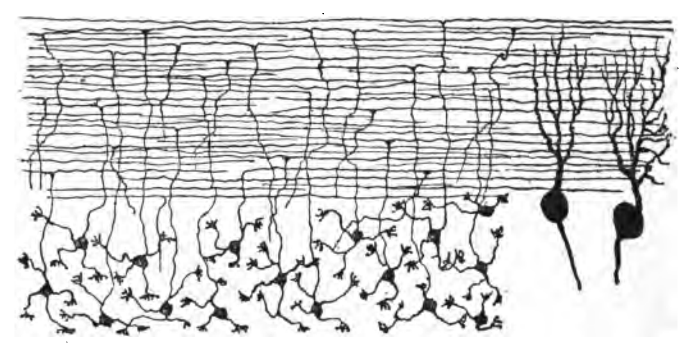


Fig. 14. — Coupe frontale du cervelet de souris adulte, montrant la division du prolongement cylindraxil des petites cellules étoilées de la couche granuleuse.

sont des cellules volumineuses à cylindre-axe court, c'est-à-dire dont le prolongement cylindraxil, à une petite distance du corps cellulaire, se divise et se subdivise à l'infini (fig. 13 D). Les prolongements protoplasmatiques de ces cellules nerveuses se terminent dans la couche moléculaire.

Dans la *couche moléculaire*, on avait signalé l'existence de nombreux éléments, mais on ignorait si on devait les considérer comme étant de nature nerveuse ou de nature conjonctive. Là, aussi, la méthode de Golgi a montré l'existence de deux espèces de cellules nerveuses :

a) *Les grandes cellules de la couche moléculaire* (fig. 13 B). Ce sont des cellules nerveuses assez volumineuses, dont les prolongements protoplasmatiques se

dirigent vers la surface du cervelet, et dont le prolongement cylindraxil, très long, émet un grand nombre de branches collatérales qui descendent dans la couche moléculaire et viennent se terminer librement par une touffe de branches à l'entour du corps et de la base du prolongement cylindraxil des cellules de Purkinje. Le prolongement cylindraxil lui-même, après un trajet variable, se recourbe pour se terminer d'une façon analogue.

b) *Les petites cellules de la couche moléculaire* (fig. 13 c). Elles occupent surtout la périphérie de la zone moléculaire. Elles possèdent un grand nombre de prolongements protoplasmatiques, mais on ignore la destinée du prolongement cylindraxil.

En dehors de ces cellules nerveuses on trouve dans la couche corticale grise un grand nombre de cellules de neuroglie (fig. 13 F).

La substance blanche du cervelet est formée de fibres nerveuses. On peut y distinguer trois espèces de fibres :

1° Les fibres qui ne sont que le prolongement cylindraxil des cellules de Purkinje (fig. 15 A).

2° Des fibres qui, après avoir traversé la couche granuleuse, arrivent dans la couche moléculaire et s'y terminent librement par des branches enveloppant les prolongements protoplasmatiques des cellules de Purkinje. Ces fibres se divisent souvent dans la substance blanche ou dans la couche granuleuse. Ce sont des fibres qui se terminent librement dans la couche moléculaire et dont on ne connaît pas encore la cellule d'origine (fig. 15 B).

3° Enfin, des fibres appelées *mousseuses* par Ramón y Cajal, parce que, à des distances variables, elles présen-

tent des touffes de petites branches collatérales. Nous avons retrouvé ces fibres dans le cervelet de poule, de



FIG. 15. — Coupe antéro-postérieure du cervelet montrant simplement les fibres de la substance blanche; *a* prolongement cylindraxil des cellules de PURKINJE; *b* fibres se terminant librement à l'entour des prolongements protoplasmatiques des cellules de PURKINJE (d'après RAMÓN Y CAJAL); *c* fibres mousseuses de RAMÓN Y CAJAL.

souris, de chat, de chien, de lapin et de singe, et malgré la haute autorité de Kölliker nous les considérons avec Ramón y Cajal comme des productions naturelles (fig. 15c). Ce sont là encore des terminaisons libres d'éléments nerveux dont on ne connaît pas non plus la cellule d'origine.

Le fait le plus saillant qui ressort de cette étude de

la couche corticale grise du cervelet, c'est de nouveau l'indépendance absolue de tous les éléments nerveux. Le prolongement cylindraxil se comporte toujours de la même façon, il se termine librement à une distance plus ou moins grande du corps cellulaire. Quand cette terminaison se fait par des arborisations, celles-ci enveloppent le corps des éléments nerveux voisins. On doit de nouveau en conclure que, ici également, la transmission nerveuse d'un élément à un autre se fait par contact.

L'exemple le plus frappant de cette transmission par contact se trouve dans le bulbe olfactif.

Vous voyez ici (fig. 16) une coupe antéro-postérieure d'un bulbe olfactif de mammifère. Chez les mammifères, le ventricule latéral du cerveau se prolonge jusque dans le bulbe olfactif. Ce ventricule est tapissé par un épithélium, dont les cellules, *ep*, se comportent comme celles du canal central de la moelle épinière. A la partie inférieure de la figure se trouve représentée la muqueuse olfactive, *mu*.

Ainsi que nous l'avons montré ailleurs, d'accord avec Ramón y Cajal, on trouve dans cette muqueuse deux espèces de cellules : des cellules épithéliales, *ce*, et des cellules bipolaires, *cb*. Ces dernières sont des cellules nerveuses dont le prolongement cylindraxil (la fibrille olfactive) traverse la sous-muqueuse, *sm*, la lame criblée de l'ethmoïde, *ethm*, et se termine par des ramifications libres dans un glomérule olfactif, *go*. A ce même glomérule arrive un prolongement protoplasmatique d'une cellule nerveuse volumineuse appelée à cause de sa forme spéciale : *cellule mitrale*. Ce prolongement protoplasmatique se termine aussi dans le glomérule olfactif par de nombreuses branches terminales.

Du corps de la cellule mitrale partent encore d'autres prolongements protoplasmatiques très longs à direction

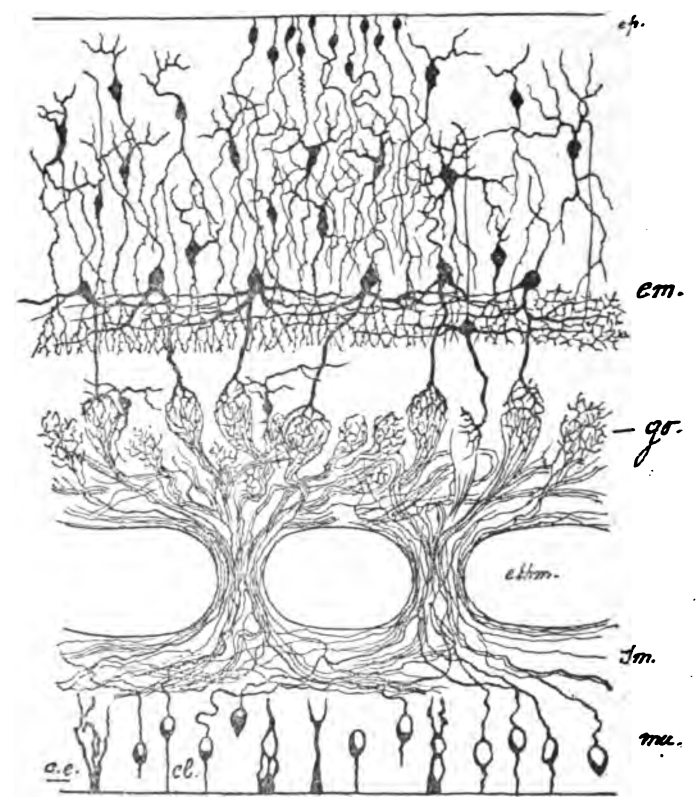


Fig. 16. — Coupe antéro-postérieure d'un bulbe olfactif de mammifère (d'après Ramón y Cajal); *ep*, épithélium ventriculaire; *cm*, cellules mitrales; *go*, glomérules olfactifs; *ethm*, lame criblée de l'ethmoïde; *sm*, sous-muqueuse; *mu*, muqueuse olfactive; *ce*, cellules épithéliales; *cb*, cellules bipolaires.

horizontale et un prolongement cylindraxil qui se rend vers le cerveau.

La transmission nerveuse de la cellule bipolaire de la muqueuse olfactive à la grande cellule mitrale, et par celle-ci au cerveau, se fait dans le glomérule olfactif,

par contact, entre les branches terminales de la fibrille olfactive et celles du prolongement protoplasmatique de la cellule mitrale.

Cet exemple évident de transmission nerveuse par contact que nous offre le bulbe olfactif est encore intéressant à un autre point de vue. Il jette, en effet, une vive lumière sur le rôle physiologique que nous devons attribuer aux prolongements protoplasmatiques des cellules nerveuses. Pour Golgi, ces prolongements se mettent en rapport avec les vaisseaux sanguins et servent uniquement à la nutrition de l'élément nerveux; ils n'interviendraient donc en aucune façon dans la transmission nerveuse. Celle-ci appartient uniquement au corps cellulaire et au prolongement cylindraxil; aussi Golgi appelle-t-il ce dernier le prolongement fonctionnel. Ramón y Cajal, le premier, a combattu cette manière de voir; la structure du bulbe olfactif montrant manifestement que le prolongement protoplasmatique intervient comme prolongement fonctionnel. Kölliker ne se prononce pas sur cette question. Nous avons pu vérifier sur le bulbe olfactif toutes les assertions de Ramón y Cajal, et nous admettons avec lui que l'élément nerveux tout entier intervient activement dans la transmission nerveuse : les prolongements protoplasmatiques et le corps cellulaire reçoivent l'ébranlement nerveux amené par le cylindre-axe d'un élément voisin, et le transmettent par le prolongement cylindraxil à d'autres éléments nerveux.

L'indépendance absolue des éléments nerveux et, comme conséquence naturelle, la transmission nerveuse par contiguité ou par contact se vérifie donc dans les différentes parties de l'axe cérébro-spinal. Telle est la

conclusion rigoureuse à laquelle nous amènent forcément les découvertes récentes; ce sera aussi la conclusion capitale de cette conférence.

Je termine par un fait historique.

Le 25 janvier 1842, par une température de 13° en dessous de zéro, un homme d'un mérite incontestable, un savant justement renommé par ses remarquables recherches sur la structure des centres nerveux, Stilling, fit congeler un morceau de moelle épinière et y pratiqua, à l'aide d'un scalpel, une fine coupe transversale : « Lorsque, dit-il (*), j'eus porté cette coupe sous le microscope et que j'eus vu, à un grossissement de 15 lignes, le magnifique rayonnement formé par les fibres transversales, j'avais trouvé une clef qui me donnait toute facilité pour ouvrir et visiter ce merveilleux édifice qui constitue la moelle épinière. Archimède ne proféra pas avec plus de joie son *eurêka* que moi en m'exclamant à ce spectacle. »

Malheureusement, la clef trouvée par Stilling n'ouvrait que le vestibule et, pendant cinquante années, nous avons dû faire antichambre. La méthode de Golgi nous met entre les mains une clef beaucoup plus parfaite. Ramón y Cajal nous a appris à nous en servir. C'est un véritable passe-partout qui nous ouvrira toutes les portes.

Encore quelques années et l'anatomie du système nerveux central n'aura plus de secrets pour personne. Encore quelques années et, j'en ai la conviction profonde, ce système nerveux, que nous étions presque tentés de considérer comme une énigme à jamais insoluble, aura la clarté d'un schéma.

(*) Voir EDINGER. *Anatomie des centres nerveux*, 1889, p. 3.

BIBLIOGRAPHIE

GOLGI. — *Recherches sur l'histologie des centres nerveux;* Archives italiennes de biologie, t. III et IV, 1883.

EDINGER. — *Zwölf Vorlesungen über den Bau der nervösen Centralorgane.* Leipzig, 1889.

— *Ueber die Fortsetzung der hinteren Rückenmarkswurzeln zum Gehirn;* Anatomischer Anzeiger. Jahrg. IV, 1889, p. 121-128.

— *Einiges vom Verlauf der Gefühlsbahnen im centralen Nervensysteme;* Sonderabdr. aus der « Deutschen medicinischen Wochenschrift », 1890, n° 20.

RAMÓN Y CAJAL. — *Estructura de los centros nerviosos de las aves;* Revista trimestrial de histologia normal y pathologica, n° 1, 1888, p. 1-10.

— *Sobre las fibras nerviosas de la capa molecular del cerebelo;* Ibid., n° 2, 1888, p. 33-41.

— *Estructura del lobulo optico de las aves;* Ibid., nos 3 et 4, 1889, p. 65-78.

— *Contribucion al estudio de la estructura de la medula espinal;* Ibid., 1889, p. 79-106.

— *Sobre las fibras nerviosas de la capa granulosa del cerebelo;* Ibid., 1889, p. 107-118.

— *Sur l'origine et la direction des prolongations nerveuses de la couche moléculaire du cervelet;* Internation. Monatschrift, Bd. VI, Heft 3 et 4, 1889.

— *Conexion general de los elementos nerviosos;* La medicina practica, n° 88, p. 341-346, 1889.

— *Nuevas aplicaciones del metodo de coloracion de Golgi;* septembre 1889. Barcelone.

KÖLLIKER. — *Histologische Mittheilungen;* Sitzungsber. des Wurzb. Phys. med. Gesellschaft, november 1889.

Ramón y Cajal. — *Sur l'origine et les ramifications des fibres nerveuses de la moelle embryonnaire;* Anatomischer Anzeiger, n° 3, p. 85-95 et n° 4, p. 111-119, 1890.

— *Sur les fibres nerveuses de la couche granuleuse du cervelet et sur l'évolution des éléments cérébelleux;* Intern. Monatschr., Bd. VII, Heft 1, 1890.

Kölliker. — *Zur feineren Anatomie des centralen Nervensystems;* Erster Beitrag : *Das Kleinhirn;* Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 49, Heft 4, 1890.

Ramón y Cajal. — *Sobre ciertos elementos bipolares del cerebelo joven,* etc.; Gaceta Sanitaria, 10 février 1890.

Kölliker. — *Ueber den feineren Bau des Rückenmarks;* Sitzeingsber. der Wurzb. Phys.-med. Gesellsch., Marz 1890.

Ramón y Cajal. — *A propos de certains éléments bipolaires du cervelet avec quelques détails nouveaux sur l'évolution des fibres cérébelleuses;* Intern. Monatschr., Bd. VII, Heft 2, 1890.

— *Nuevas observaciones sobre la estructura de la medula espinal de los mamiferos;* avril 1890. Barcelone.

v. Lenhossek. — *Ueber Nervenfasern in hinteren Wurzeln welche aus dem Vorderhorn entspringen;* Anat. Anz., n[os] 13 et 14, 1890.

Golgi. — *Ueber den feineren Bau des Rückenmarks;* Anatomischer Anzeiger, n[os] 13 et 14, p. 372-396 et n° 15, p. 423-435, 1890.

Ramón y Cajal. — *Sobre la aparicion de las expansiones celulares en la médula embrionaria;* Gaceta sanitaria de Barcelona, n° 12, p. 413-418, août 1890.

Kölliker. — *Zur feineren Anatomie des centralen Nervensystems;* Zweiter Beitrag : *Das Rückenmark;* Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 51, Heft 1, 1890.

Pedro Ramón. — Notas preventivas sobre la estructura de los centros nerviosos : I. *Terminacion del nervio optico en los cuerpos geniculados y tuberculos cuadrigeminos;* II. *Estructura del bulbo olfatorio de las aves;* III. *Estructura del cerebelo de los peces;* Gaceta sanitaria de Barcelona, n° 1, p. 10-18, septembre 1890.

Ramón y Cajal. — *Réponse à M. Golgi à propos des fibrilles col-*